

**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

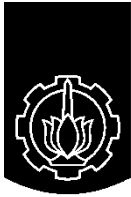
**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN ARC FLASH PADA PABRIK AMUREA II PT.  
PETROKIMIA GRESIK**

Cahaya Surya Utama  
NRP 2215 105 071

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**PROTECTION COORDINATION ANALYSIS  
WITH ARC FLASH CONSIDERATION ON AMUREA II PLANT, PT.  
PETROKIMIA GRESIK**

Cahaya Surya Utama  
NRP 2215 105 071

Advisors  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

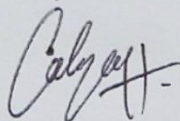
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2018

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul **“Analisis Koordinasi Proteksi Dengan Mempertimbangkan Arc Flash Pada Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik”** bahwa sebagian isi atau keseluruhannya merupakan benar-benar hasil karya intelektual mandiri, bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri, dan hasil intelektual saya sendiri tidak menggunakan bahan – bahan yang idak diijinkan.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2018



Cahya Surya Utama  
NRP. 2215 105 071

**ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN ARC FASH PADA PABRIK  
AMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Margo Pujiانتara, M.T.**  
**NIP. 1966 03181990101001**

**Ir. Sjamsjul Anam, M.T.**  
**Nip : 196307251990031002**



# **ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN ARC *FLASH* PADA PABRIK AMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK**

**Nama Mahasiswa** : Cahya Surya Utama  
**NRP** : 2215 105 071  
**Dosen Pembimbing** : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
2. Ir. Sjamsjul Anam, MT.

## **ABSTRAK**

PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu perusahaan terbesar di Indonesia yang memproduksi pupuk serta beberapa jenis bahan kimia lainnya. Produk pupuk yang dihasilkan terdiri berbagai macam, seperti Urea, ZA, NPK, Phonska, pupuk organik dan beberapa jenis lainnya. Mengingat banyaknya produk yang dihasilkan maka PT. Petrokimia Gresik terbagi menjadi beberapa unit produksi dengan hasil produk yang berbeda – beda, salah satu unit produksinya adalah Pabrik Amurea II yang memproduksi Amonia dan Urea. Besarnya skala produksi pada Pabrik Amurea II maka harus dihindari terjadinya *blackout* ketika terdapat gangguan sistem kelistrikan agar tidak menyebabkan kerugian yang besar.

Pada tugas akhir ini setelah dilakukan *setting* koordinasi proteksi maka akan dipertimbangkan besar insiden energi busur api yang mungkin terjadi mengingat bahaya busur api dapat melukai pekerja dan peralatan. Selain itu dengan mengetahui besar insiden energi yang mungkin terjadi maka dapat ditentukan PPE (*personal protective equipment*) untuk para pekerja serta dapat mengetahui jarak aman pekerja dengan peralatan ketika tidak menggunakan PPE sesuai dengan standar NFPA 70E.

Hasil dari tugas akhir ini adalah koordinasi peralatan pengaman yang tepat dalam mengatasi gangguan dan juga diketahui besar insiden energi yang mungkin terjadi. Selain itu juga terdapat rekomendasi penambahan rele diferensial pada bus 11A-3-1-1 dan bus 20 kV MVSWGR-1-1 untuk menurunkan tingkat insiden energi yang terjadi, dikarenakan tingkat insiden energi busur api yang terjadi melebihi batas standar NFPA 70E.

**Kata kunci** : koordinasi proteksi, busur api, insiden energi, jarak aman, *Personal Protective Equipment* (PPE).

*\*\*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\*\*\**

# PROTECTION COORDINATION ANALYSIS WITH ARC FLASH CONSIDERATION ON AMUREA II PLANT, PT. PETROKIMIA GRESIK

*Name of Student* : Cahya Surya Utama  
*NRP* : 2215 105 071  
*Advisors* : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
2. Ir. Sjamsjul Anam, MT.

## ABSTRACT

*PT. Petrokimia Gresik is a leading company in Indonesia for producing fertilizer and some other chemical materials. There are a lot of fertilizers that being produce, such as Urea, ZA, NPK, Phonska, organic fertilizers and some other type. Because of the variations of product that being produce, PT. Petrokimia Gresik divided into some production unit, for example is Pabrik Amurea II that produce Amonia and Urea. The production scale is very large, so some interference in production process must be avoided, especially when there is blackout in all electrical systems that caused the system to stop. This will cost a massive lost for the productions.*

*In this final project, the coordination of protection device will be analyzed and the parameters will be reset to the right value. After the coordination of protection device is correct, the Arc Flash Hazard that may occurs will be analyzed too. This analysis is crucial for the workers around the electrical parts. The out put for the analysis is a recommendation of PPE (Personal Protective Device) that protect the workers from Arc Flash Hazard.*

*The result of this final project is correct coordination of protection device that secure the system from short circuit interference, and by knowing the value of incident energy that may occurs. And the other is a recommendations for PT. Petrokimia Gresik to add differential relay on bus 11A-3-1-1 and bus 20 kV MVswgr-1-1 in order to reduce the amount of incident energy, because the amount of incident energy that may occurs is exceeding the maximum value from NFPA 70E standards.*

**Keywords :** *protection coordination, arc flash, incident energy, protection boundary, Personal Protective Equipment (PPE).*

**\*\*\**Halaman ini sengaja dikosongkan*\*\*\***



## KATA PENGANTAR

Dengan rahmat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia, petunjuk, kesehatan serta bimbingan-Nya akhirnya penulis mampu menyelesaikan tugas Akhir yang berjudul :

### **ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *ARC FLASH* PADA PABRIK AMUREA II PT. PETRKOMIA GRESIK**

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik bidang Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Lektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar- besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Mama, Papa serta seluruh keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan terus menerus
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Dan Bapak Dr. Ir. Sjamsjul Anam, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran, masukan serta bimbingannya.
3. Bapak Yudi Fian, *Engineer* Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik yang membantu penulis mendapatkan data – data penunjang terselesaikannya Tugas akhir ini.
4. Seluruh teman-teman Tugas Akhir Proteksi, Shofia Kholisatus Sa'adah, Rizanni Pradana A, Singgih Anggi Dwi H, Vania Aprilia, Imam Suri Tauladan, M. Ilham Rosyadi, Wahyu Kurniawan, yang senantiasa memberi dukungan dan semangat serta membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir
5. Seluruh teman-teman mahasiswa Teknik Elektro lintas jalus angkatan 2015 khususnya bidang studi teknik sistem tenaga.
6. Seluruh dosen dan karyawan Fakultas Teknologi Elektro, Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
7. Rosa Amalia Iqony yang telah mendampingi dan memberi motivasi penulis agar segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Besar harapan penulis agar isi yang terkandung dalam buku Tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari seluruh pembaca

Surabaya, Januari 2018

Penulis

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I    PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi .....	4
<b>BAB II    PENGAMAN SISTEM TENAGA LISTRIK</b>	
<b>          DAN ENERGI BUSUR API .....</b>	<b>5</b>
2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.1.1 Gangguan Beban Lebih ( <i>Overload</i> ) .....	5
2.1.2 Gangguan Hubung Singkat ( <i>Short Circuit</i> ) .....	6
2.1.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	7
2.2 Peralatan Pengaman Sistem Tenaga Listrik .....	9
2.2.1 Peralatan Transformator .....	9
2.2.2 <i>Circuit Breaker (CB)</i> .....	9
2.2.3 Rele pengaman .....	9
2.3 Rele Arus Lebih ( <i>Over Current Relay</i> ).....	11
2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik ( <i>Invers</i> ) .....	12
2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definit Time</i> ) .....	12
2.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Seketika ( <i>Instantaneous Time</i> ) .....	13
2.3.4 Pengaturan Rele Arus Lebih .....	13
2.4 Koordinasi Rele Pengaman .....	14
2.5 Rele Diferensial .....	15
2.6 Busur Api ( <i>Arc Flash</i> ) .....	15
2.6.1 Perhitungan Energi Busur Api Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002 [7].....	17

2.6.2	<i>Lee Method</i> [7] .....	19
2.6.3	Jarak Aman Perlindungan <i>Flash Protection Boundary</i> .....	20
2.6.4	Perhitungan <i>Flash Protection Boundary</i> [7] .....	21
2.6.5	Pengkategorian Level Energi Busur Api Sesuai dengan Standar NFPA 70E .....	22
 <b>BAB III SISTEM KELISTRIKAN PABRIK AMMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK.....25</b>		
3.1	Sistem Kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik ....	25
3.2	Kapasitas Pembangkitan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	27
3.3	Sistem Distribusi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	28
3.4	Data Beban pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	31
3.5	Arus Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik.....	34
3.5.1	Arus Hubung Singkat Maksimum.....	35
3.5.2	Arus Hubung Singkat Minimum .....	36
 <b>BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA BUSUR API PABRIK AMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK ...39</b>		
4.1	Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik.....	39
4.2	Koordinasi Sistem Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Gangguan Fasa ....	42
4.3	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 1 .....	42
4.3.1	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 1A.....	42
4.3.2	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 1B.....	52
4.4	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 2 .....	63
4.4.1	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 2A.....	63
4.4.2	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 2B .....	66
4.5	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 3 .....	77
4.6	Analisa Nilai Energi Busur Api ( <i>Arc Flash</i> ) pada Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik.....	87
4.6.1	Nilai Energi Busur Api ( <i>Arc Flash</i> ) Kondisi <i>Existing</i> .....	88
4.6.2	Nilai Energi Busur Api ( <i>Arc Flash</i> ) Kondisi <i>Resetting</i> .....	89
4.7	Perhitungan <i>Flash Protection Boundary</i> (FPB) .....	100
4.7.1	Perhitungan <i>flash protection boundary</i> pada bus di tipikal 1 .....	100
4.7.2	Perhitungan <i>flash protection boundary</i> pada bus di tipikal 2 .....	101
4.7.3	Perhitungan <i>flash protection boundary</i> pada bus di tipikal 3 .....	102

4.8	Penentuan Personal Protective Equipment (PPE) .....	104
-----	---	-----

<b>BAB 5</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>107</b>
--------------	---------------------	------------

5.1	Kesimpulan .....	107
-----	------------------	-----

5.2	Saran .....	108
-----	-------------	-----

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>109</b>
-----------------------------	------------

<b>PROFIL PENULIS</b>	
-----------------------	--

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Gelombang Arus Hubung Singkat .....	7
<b>Gambar 2. 2</b>	Gelombang Arus Hubung Singkat .....	10
<b>Gambar 2. 3</b>	Elemen Dasar Rele Pengaman .....	10
<b>Gambar 2. 4</b>	Karakteristik Rele Overcurrent Invers Time .....	12
<b>Gambar 2. 5</b>	Kurva Karakteristik Standart Inverse, Very Inverse dan Extremely Invers.....	12
<b>Gambar 2. 6</b>	Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.	12
<b>Gambar 2. 7</b>	Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika	13
<b>Gambar 2. 8</b>	Perbedaan Arc Fault dengan Bolted Fault .....	16
<b>Gambar 2. 9</b>	Efek yang Ditimbulkan Arc Fault .....	16
<b>Gambar 2. 10</b>	Batas Pendekatan Jarak Flash Protection Boundary ...	21
<b>Gambar 3. 1</b>	Single Line Diagram Sederhana PT. Petrokimia Gresik .....	25
<b>Gambar 3. 2</b>	Single Line Diagram Sederhana Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	26
<b>Gambar 4.1</b>	Tipikal Koordinasi Proteksi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik.....	41
<b>Gambar 4. 2</b>	Single Line Diagram Tipikal 1A .....	43
<b>Gambar 4. 3</b>	Kurva TCC Existing Tipikal 1A .....	44
<b>Gambar 4. 4</b>	Time Current Curve Tipikal 1A setelah resetting .....	49
<b>Gambar 4. 5</b>	Single Line Diagram Tipikal 1B .....	53
<b>Gambar 4. 6</b>	Kurva TCC Existing Tipikal 1B .....	54
<b>Gambar 4. 7</b>	Time Current Curve Tipikal 1B setelah resetting .....	61
<b>Gambar 4. 8</b>	Single Line Diagram Tipikal 2A.....	63
<b>Gambar 4. 9</b>	Time Current Curve Tipikal 2A.....	65
<b>Gambar 4. 10</b>	Single Line Diagram Tipikal 2B .....	66
<b>Gambar 4. 11</b>	Kurva TCC Existing Tipikal 2B .....	67
<b>Gambar 4. 12</b>	Time Current Curve Tipikal 2B setelah resetting .....	74
<b>Gambar 4. 13</b>	Single Line Diagram Tipikal 3.....	77
<b>Gambar 4. 14</b>	Kurva TCC Existing Tipikal 3 .....	78
<b>Gambar 4. 15</b>	Time Current Curve Tipikal 3 setelah resetting .....	86

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b>	Interval Waktu Antar Rele .....	15
<b>Tabel 2. 2</b>	Tipikal Gap Antar Bus .....	18
<b>Tabel 2. 3</b>	Tipikal Jarak Kerja.....	18
<b>Tabel 2. 4</b>	Faktor Peralatan dan Kelas Tegangan.....	19
<b>Tabel 2. 5</b>	Pengelompokan Kategori Bahaya Busur Api Berdasarkan NFPA 70E .....	22
<b>Tabel 2. 5</b>	Pengelompokan Kategori Bahaya Busur Api Berdasarkan NFPA 70E (lanjutan) .....	23
<b>Tabel 2. 5</b>	Pengelompokan Kategori Bahaya Busur Api Berdasarkan NFPA 70E (Lanjutan).....	24
<b>Tabel 3. 1</b>	Data Spesifikasi Generator GGCP-1 .....	27
<b>Tabel 3. 2</b>	Data Bus .....	28
<b>Tabel 3. 3</b>	Data Transformator.....	29
<b>Tabel 3. 4</b>	Data Kabel.....	30
<b>Tabel 3. 5</b>	Data Beban Motor.....	32
<b>Tabel 3. 6</b>	Data Beban Static Load.....	33
<b>Tabel 3. 7</b>	Data Beban Lump Load .....	33
<b>Tabel 3. 8</b>	Data Beban Motor Operated Valve .....	34
<b>Tabel 3. 9</b>	Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle.	35
<b>Tabel 3. 10</b>	Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle.	36
<b>Tabel 4. 1</b>	Sequence Viewer gangguan pada bus 183-3-1-1.....	50
<b>Tabel 4. 2</b>	Sequence Viewer gangguan pada bus 21B-3-1-1 .....	50
<b>Tabel 4. 3</b>	Sequence Viewer gangguan pada bus 164-3-1-1 .....	51
<b>Tabel 4. 4</b>	Sequence Viewer gangguan pada bus 11A-3-1-1 (Tipikal 1).....	62
<b>Tabel 4. 5</b>	Sequence Viewer Gangguan pada Bus 33A-4-1-1 .....	75
<b>Tabel 4. 6</b>	Sequence Viewer Gangguan pada Bus 188-3-1-1 .....	76
<b>Tabel 4. 7</b>	Sequence Viewer Gangguan pada Bus 11A-3-1-1 (Tipikal 3).....	87
<b>Tabel 4. 8</b>	Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi Existing Pabrik Amurea II .....	88
<b>Tabel 4. 9</b>	Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi Resetting Pabrik Amurea II .....	90
<b>Tabel 4. 10</b>	Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api.....	91
<b>Tabel 4. 11</b>	Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi Resetting Pabrik Amurea II.....	96
<b>Tabel 4. 12</b>	Perbandingan Energi Busur Api dan Kategori Busur Api Kondisi Existing, Resetting Pabrik Amurea II .....	97

<b>Tabel 4. 13</b> Hasil Simulasi Energi Busur Api Setelah Penambahan Rele Diferensial pada bus.....	99
<b>Tabel 4. 14</b> Perbandingan Flash Protection Boundary Kondisi Existing, Resetting dan Hitungan pada tipikal Pabrik Amurea II Sebelum Penambahan Rele Diferensial .....	102
<b>Tabel 4. 15</b> Rekomendasi PPE pada Masing – Masing Bus Berdasarkan Kategori Busur Api.....	105

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu perusahaan terbesar di Indonesia yang memproduksi pupuk serta beberapa jenis bahan kimia lainnya. Produk pupuk yang dihasilkan terdiri berbagai macam, seperti Urea, ZA, NPK, Phonska, pupuk organik dan beberapa jenis lainnya. Sedangkan produk non pupuk yang dihasilkan oleh PT. Petrokimia Gresik adalah Asam Sulfat, Asam Fosfat, *Dry Ice*, Alumunium Flouride dan berbagai jenis lainnya. Untuk menghasilkan berbagai macam jenis produk – produk tersebut, PT. Petrokimia Gresik terdiri dari 3 unit produksi utama, yang menghasilkan produk berbeda – beda pada tiap unit produksi. Dengan adanya tiga pabrik, maka PT. Petrokimia Gresik membutuhkan suplai listrik yang cukup besar. Oleh karena itu, selain mendapat suplai listrik dari PLN, PT. Petrokimia Gresik juga mengoperasikan beberapa unit pembangkit listrik untuk menunjang proses produksinya. Beberapa unit pembangkit tersebut adalah *Gas Turbine Generator (GTG)* 1x33 MW di pabrik I, *Steam Turbine Generator (STG)* 1x11.5 MW dan 1x8.5 MW serta *Steam Turbine Generator (STG)* Utilitas Batu Bara Plant) 1x32 MW pada pabrik IIIA, *Steam Turbine Generator (STG)* Revamp plant-III) 1x17.5 MW serta unit pembangkit *Steam Turbine Generator (STG)* Cogen Plant) 1x12.5 MW pada pabrik IIIB, dan yang terakhir unit pembangkit *Gresik Gas Cogeneration Plant (GGCP)* 1x26,8 MW pada pabrik Amurea II.

Dengan skala produksi yang sangat besar, tentu PT. Petrokimia Gresik harus mampu mempertahankan kontinuitas proses produksi. Oleh karena itu sebisa mungkin gangguan selama proses produksi harus ditanggulangi, sehingga kontinuitas aliran daya tetap terjaga dan tidak mengganggu proses produksi keseluruhan dari semua pabrik. Gangguan – gangguan tersebut dapat berupa gangguan beban lebih, gangguan tegangan lebih dan gangguan hubung singkat. Apabila gangguan tersebut tidak ditanggulangi dengan baik, akibatnya dapat menghentikan proses produksi seperti yang pernah terjadi di pabrik III. Hal ini tentu sangat merugikan karena produksi terhenti untuk beberapa waktu.

Agar sistem kelistrikan tetap terjaga saat terjadi gangguan, maka diperlukan koordinasi peralatan pengaman yang tepat dan benar serta tidak membahayakan manusia (operator) yang bekerja disekitarnya. Koordinasi rele pengaman harus dapat mengamankan bagian sistem yang terjadi gangguan saja tanpa mengganggu sistem keseluruhan dan bagian yang tidak terjadi gangguan tetap beroperasi dengan normal. Selain itu,

dapat diketahui bahaya *Arc-Flash* yang timbul saat terjadi gangguan hubung singkat demi memberikan rekomendasi PPE (*Personal Protective Equipment*) pada pekerja disekitarnya. Analisa perhitungan besar energi busur api yang muncul didasarkan pada standar IEEE 1584 – 2002 dan rekomendasi PPE berdasarkan standar NFPA 70E.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang tersebut, permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pemodelan sistem kelistrikan Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik serta mengetahui besar arus gangguan pada sistem.
2. Setting rele – rele *overcurrent* fasa untuk memperoleh koordinasi proteksi yang tepat ketika terjadi gangguan.
3. Menghitung besar insiden energi busur api yang terjadi saat terdapat gangguan pada sistem sesuai standar IEEE 1584 – 2002.
4. Mengkategorikan besar level arus insiden energi serta memberikan rekomendasi peralatan pengaman diri (*PPE*) *Personal Protective Equipment* untuk pekerja sesuai standar NFPA 70E.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang ditentukan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. *Software* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah ETAP 12.6.
2. Analisa koordinasi proteksi dengan mempertimbangkan *Arc-Flash* dilakukan pada sistem kelistrikan Pabrik Amurea II saja, tidak mempertimbangkan sistem Petro Raya.
3. Analisa dilakukan pada sistem dengan level tegangan 20 kV, 6,3 kV dan 0,4 kV.
4. Standar yang digunakan untuk perhitungan besar energi *Arc-Flash* adalah IEEE 1584 – 2002.

## **1.4 Tujuan**

Berikut tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini :

1. Melakukan pemodelan sistem kelistrikan Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik.
2. Meperoleh setting arus lebih fasa yang tepat pada Pabrik Amurea II sehingga koordinasi peralatan pengaman dapat bekerja sesuai dengan urutan yang diinginkan, serta meminimalkan insiden energi yang muncul.

3. Mengetahui level insiden energi yang muncul sehingga didapatkan rekomendasi PPE (*Personal Protective Equipment*) yang tepat bagi para pekerja.

## **1.5 Metodologi**

Metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### **1. Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi yang berhubungan dengan tugas akhir untuk. Referensi yang dapat diambil berupa studi analisis aliran daya, arus hubung singkat, koordinasi rele proteksi (OCR) dan perhitungan energi *Arc-Flash*.

### **2. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan di Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik dengan mengumpulkan data – data beban, *single line diagram*, serta setting rele kondisi *eksisting* yang terdapat pada Pabrik Amurea II.

### **3. Simulasi dan Analisa Sistem**

Simulasi dilakukan sesuai dengan *Single Line Diagram* yang telah diperoleh sebelumnya. Simulasi menggunakan *software* ETAP kemudian diperoleh data – data lain untuk kemudian digunakan dasar perhitungan untuk setting koordinasi rele pengaman serta perhitungan besar energi *Arc-Flash* yang muncul. Selanjutnya dianalisa apakah koordinasi rele pengaman telah bekerja dengan tepat dan besar *Incident Energy* tidak terlalu besar yang sangat membahayakan pekerja disekitarnya.

### **4. Penyusunan Laporan Tugas Akhir**

Pada tahap ini dilakukan penyusunan laporan tugas akhir sesuai dengan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan sebelumnya. Pada laporan ini nantinya akan ditulis teori penunjang yang digunakan sebagai dasar pengerjaan tugas akhir serta hasil analisa yang dilakukan, seperti koordinasi peralatan pengaman yang tepat dan rekomendasi alat pengaman diri untuk pekerja.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### **BAB I : Pendahuluan**

Pada BAB 1 akan dibahas latar belakang tugas akhir, permasalahan, batasan masalah, tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini, metodologi pengerjaan serta sistematika penulisan buku sebagai laporan tertulis dari tugas akhir.

## **BAB II : Pengaman Sistem Tenaga Listrik dan Energi Busur Api**

Pada BAB II dibahas mengenai teori – teori dasar sistem pengaman tenaga listrik serta literatur yang berguna sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Serta membahas koordinasi sistem pengaman dan energi busur api sesuai standar IEEE 1584-2002 beserta alat perlindungannya sesuai standar NFPA 70E.

## **BAB III: Sistem Kelistrikan Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik**

Pada BAB III dibahas mengenai sistem kelistrikan yang terdapat pada Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik. Sistem kelistrikan yang dimaksud meliputi topologi sistem, data pembangkit, data beban, data transformator serta sistem distribusi.

## **BAB IV: Hasil Simulasi dan Analisa Busur Api Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik**

Pada BAB IV dibahas mengenai hasil simulasi dan perhitungan koordinasi proteksi rele pengaman arus lebih. Pada bab ini juga dibandingkan *setting* rele pengaman *eksisting* dengan hasil simulasi dan perhitungan. Serta membahas besar energi busur api yang muncul pada masing – masing bus.

## **BAB V : Penutup**

Pada BAB V diberikan kesimpulan dari pembahasan yang telah dilakukan, mulai dari simulasi dan perhitungan. Kemudian juga diberikan saran mengenai tugas akhir yang telah dikerjakan.

### **1.7 Relevansi**

Hasil dari tugas akhir ini nantinya diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi dan masukan bagi PT. Petrokimia Gresik terkait dengan *setting* koordinasi proteksi di Pabrik Amurea II.
2. Dapat mengetahui besar energi busur api yang muncul pada Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik saat terjadi gangguan hubung singkat, sehingga dapat diketahui PPE (*Personal Protective Equipment*) dan jarak kerja yang aman untuk pekerja.

## **BAB II**

# **PENGAMAN SISTEM TENAGA LISTRIK DAN ENERGI BUSUR API**

Pada sebuah industri, sistem kelistrikan merupakan komponen utama dalam sebuah proses produksi. Dikarenakan sebagian besar komponen penggerak pada proses produksi merupakan sebuah peralatan listrik. Oleh karena itu keandalan sistem sangatlah penting dalam menunjang keberlangsungan proses produksi. Suatu sistem kelistrikan harus mampu menanggulangi kemungkinan gangguan – gangguan yang muncul agar tidak mempengaruhi sistem secara keseluruhan. Gangguan yang dapat terjadi adalah seperti gangguan beban lebih dan hubung singkat. Gangguan hubung singkat sendiri sangatlah berbahaya, karena arus yang mengalir menuju titik hubung singkat sangatlah besar, dapat menimbulkan busur api (*arc flash*) yang sangat membahayakan pekerja dan peralatan [4]. Sehingga diperlukan sistem pengaman yang terkoordinasi dengan baik sehingga gangguan cepat diatasi dan dilokalisasi tidak mempengaruhi sistem secara keseluruhan serta besar energi busur api yang timbul dapat diminimalisir.

### **2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik**

Gangguan pada sistem tenaga listrik sendiri dapat didefinisikan sebagai suatu keadaan yang tidak normal yang menyebabkan sistem menjadi tidak stabil [3]. Hal ini dapat diakibatkan oleh arus yang mengalir ke beban melebihi nilai yang seharusnya atau karena terjadi hubung singkat di suatu titik pada sistem. Asal dari gangguan sendiri dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gangguan dari dalam sistem dan dari luar sistem [1]. Gangguan dari dalam sendiri dapat berupa beban lebih, penuaan peralatan atau kondisi peralatan yang kurang baik. Sedangkan gangguan dari luar sistem dapat diakibatkan kesalahan pekerja, faktor alam seperti angin atau petir, serta gangguan hewan atau pohon tumbang. Gangguan yang sering terjadi pada sistem kelistrikan adalah gangguan beban lebih (*overload*) dan hubung singkat.

#### **2.1.1 Gangguan Beban Lebih (*Overload*)**

Gangguan ini diakibatkan adanya pembebanan yang melebihi kapasitas dari sistem tersebut yang mengakibatkan arus yang mengalir menuju beban melebihi arus nominalnya. Jika hal ini dibiarkan dalam kurun waktu yang cukup lama tentu dapat merusak peralatan yang teraliri arus yang cukup besar ini [2].

### 2.1.2 Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat adalah hubungan abnormal pada daerah dimana impedansinya relatif rendah, dapat terjadi secara kebetulan atau disengaja, diantara dua titik dengan potensial yang berbeda[11]. Hubung singkat mengakibatkan arus mengalir dari seluruh jaringan menuju titik gangguan karena impedansinya yang rendah sehingga arus hubung singkat ini sangatlah besar. Hal ini juga dikarenakan peralatan listrik seperti generator sinkron, motor sinkron, motor induksi, serta *utility* menjadi sumber arus hubung singkat dan mempunyai arus kontribusi.

Gangguan hubung singkat sendiri dapat dibedakan menjadi dua, yaitu hubung singkat simetri dan asimetri. Hubung singkat simetri terjadi pada semua fasanya, sehingga arus dan tegangan tiap fasa sama. Hubung singkat simetri meliputi [1] :

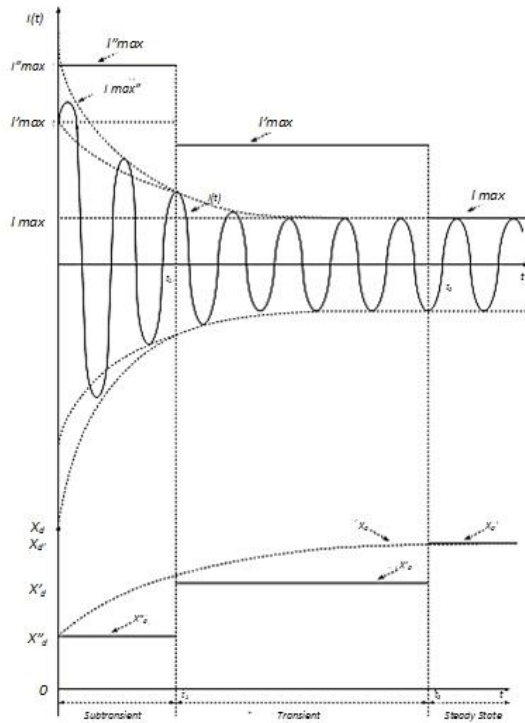
1. Hubung singkat 3 fasa
2. Hubung singkat 3 fasa ke tanah

Sedangkan gangguan asimetri menyebabkan arus dan tegangan pada masing – masing fasanya tidak sama [1]. Hubung singkat asimetri meliputi :

1. Hubung singkat satu fasa ketanah
2. Hubung singkat antar fasa (dua fasa)
3. Hubung singkat antar fasa (dua fasa) ketanah

Saat terjadi hubung singkat terdapat 3 fase peralihan pada arus yang mengalir, yaitu subtransien (terjadi pada *cycle* pertama 0 – 0,02 detik), transien (terjadi pada *cycle* selanjutnya 0,02 – 0,2 detik), dan *steady state* (besarnya arus hubung singkat mulai stabil  $\geq 0,2$  detik). Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 2.1. Terlihat bahwa pada periode subtransien nilai arus hubung singkat sangat besar, tetapi tidak bertahan cukup lama kemudian perlahan berubah ke periode transien dan *steady state*. Nilai arus hubung singkat paling besar terjadi saat fase subtransien yang digunakan untuk menentukan *rating* peralatan, sedangkan nilai minimum terjadi saat fase *steady state* yang digunakan sebagai acuan untuk perhitungan koordinasi proteksi [2].





**Gambar 2. 1** Gelombang Arus Hubung Singkat [2]

### 2.1.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Besarnya arus hubung singkat dapat dihitung berdasarkan jenis hubung singkat yang terjadi.

- Hubung Singkat Tiga Fasa (Simetri)  
Pada hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1

$$I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{Z_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- $I_{sc\ 3\phi}$  : arus hubung singkat 3 fasa
- $V_{LN}$  : tegangan nominal *line to netral*
- $Z_1$  : impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

- **Hubung Singkat Antar Fasa**  
Hubung singkat antar fasa terjadi pada 2 fasa yang terhubung oleh suatu konduktor. Besar arus hubung singkat 2 fasa dapat dihitung dengan persamaan 2.2.

$$I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \cdot Z_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{sc\ 3\phi} \approx 0.866 \times I_{sc\ 3\phi} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- $I_{sc\ 3\phi}$  : arus hubung singkat 3 fasa
- $I_{sc\ 2\phi}$  : arus hubung singkat 2 fasa
- $V_{LN}$  : tegangan nominal *line to netral*
- $V_{LL}$  : tegangan nominal *line to line*
- $Z_1$  : impedansi urutan positif
- $Z_2$  : impedansi urutan negatif

- **Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah**  
Hubung singkat yang terjadi saat 2 fasa secara bersamaan terhubung ke tanah. Besarnya arus hubung singkat dua fasa ketanah dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4.

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- $I_{A1}$  : arus hubung singkat 2 fasa ketanah
- $V_f$  : tegangan bus saat gangguan
- $Z_1$  : impedansi urutan positif
- $Z_2$  : impedansi urutan negative
- $Z_3$  : impedansi urutan nol

- **Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah**  
Hubung singkat yang terjadi bila salah satu fasa tersambung melalui konduktor ke tanah. Besar arus hubung singkat satu fasa ketanah dapat dihitung dengan persamaan 2.3.

$$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3V_{LN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- $I_{sc\ 1\phi}$  : arus hubung singkat 1 fasa ketanah
- $V_{LN}$  : tegangan nominal *line to netral*
- $Z_0$  : impedansi urutan nol
- $Z_1$  : impedansi urutan positif
- $Z_2$  : impedansi urutan negative

## **2.2 Peralatan Pengaman Sistem Tenaga Listrik**

Sebagaimana telah dibahas sebelumnya, pada sistem tenaga listrik terdapat kemungkinan terjadinya gangguan yang tidak bisa diperkirakan kapan akan terjadi. Sistem tenaga listrik yang baik harus mampu mengamankan gangguan yang terjadi agar tidak mempengaruhi keseluruhan sistem. Sehingga dibutuhkan peralatan pengaman dari sistem tenaga listrik yang mampu mengamankan gangguan secara cepat dan tepat, sehingga gangguan dapat segera diatasi dan tidak mempengaruhi aliran daya menuju bagian lain yang tidak terjadi gangguan.

Komponen utama pada sistem pengaman adalah rele pengaman, *circuit breaker* dan peralatan transformator. Sistem pengaman sendiri merupakan kumpulan dari peralatan pengaman yang terkoordinasi satu sama lain sehingga dapat beroperasi secara selektif [1].

### **2.2.1 Peralatan Transformator**

Dalam sistem pengaman listrik transformator yang digunakan adalah transformatur arus dan transformator tegangan. Fungsi dari transformator ini adalah sebagai alat ukur, tegangan / arus yang besar pada sistem diturunkan menjadi nilai yang lebih kecil sehingga dapat terbaca oleh rele pengaman [1].

### **2.2.2 *Circuit Breaker (CB)***

*Circuit Breaker (CB)* merupakan peralatan pemutus daya yang berisi kontak mekanis yang mampu membuka atau menutup pada saat kondisi berbeban maupun saat terjadi gangguan hubung singkat [1]. CB menerima informasi dari rele pengaman kapan waktu untuk membuka saat terjadi hubung singkat atau gangguan lainnya.

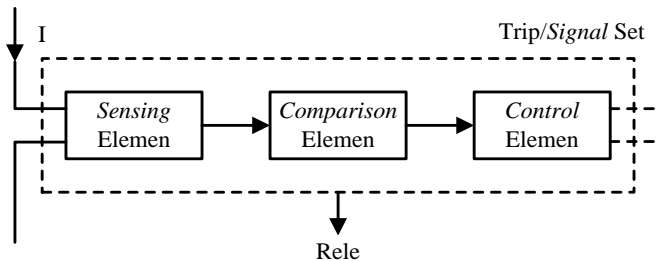
### **2.2.3 Rele pengaman**

Pada suatu sistem pengaman tenaga listrik, rele merupakan salah satu komponen terpentingnya. Rele mampu mendeteksi besaran tertentu dan kemudian membandingkan dengan nilai *setting* yang sudah ditentukan kemudian mengirimkan sinyal ke PMT (Pemutus) untuk bekerja apabila terjadi suatu gangguan. Rele disini berfungsi sebagai peralatan *sensing* yang mendeteksi apakah terjadi gangguan pada sistem atau tidak. Berikut merupakan skema kerja dari rele pengaman ditunjukkan pada gambar 2.2.



**Gambar 2. 2** Gelombang Arus Hubung Singkat [1]

Pada proses kerja rele pengaman, terdapat 3 buah elemen, yaitu *sensing* elemen, *comparison* elemen, dan *control* elemen. Ditunjukkan pada Gambar 2.5 di bawah ini :



**Gambar 2. 3** Elemen Dasar Rele Pengaman [1]

#### 1. *Sensing* Elemen

*Sensing* elemen ini berfungsi untuk merasakan atau mendeteksi adanya besaran listrik. Besaran tersebut dapat berupa arus, tegangan, atau besaran lain yang digunakan pada rele tersebut. Kemudian rele akan mendeteksi besaran tersebut termasuk kondisi ada gangguan atau pada kondisi normal. CT (*Current Transformator*) dan PT (*Power Transformator*) merupakan contoh dari elemen *sensing*.

#### 2. *Comparison* Elemen

Rele disini berfungsi sebagai *comparison element* atau elemen pembanding. Rele membandingkan besaran listrik yang dideteksi oleh elemen *sensing* kemudian rele mendeteksi besaran tersebut termasuk kondisi terdapat gangguan (melebihi parameter yang ditentukan) atau pada kondisi normal (kurang dari parameter yang ditentukan).

#### 3. *Control* Elemen

Setelah rele mendeteksi bahwa memang telah terjadi gangguan, kemudian rele memerintahkan PMT (Pemutus Tenaga) contohnya adalah CB (*Circuit Breaker*) untuk bekerja memutus aliran daya menuju jaringan yang terkena gangguan. Sehingga gangguan tidak akan menjalar ke keseluruhan sistem dan dapat segera diisolasi.

Berikut syarat – syarat yang harus dipenuhi oleh rele pengaman agar dapat bekerja dengan baik [1] :

1. Kecepatan Bereaksi  
Kecepatan bereaksi rele pengaman dalam mendeteksi gangguan sangat krusial. Semakin cepat rele bereaksi, maka dapat mengurangi dampak gangguan dan menjaga stabilitas sistem secara keseluruhan
2. Kepekaan Operasi (Sensitifitas)  
Gangguan yang muncul sekecil apapun harus dapat terdeteksi oleh rele pengaman, dan kemudian memberikan respon langsung bila merasakan gangguan.
3. Selektif (Selectifitas)  
Kemampuan rele pengaman untuk menentukan dengan tepat dimana titik terjadinya gangguan dan kemudian memutus rangkaian yang terkena gangguan dengan CB terdekat dari titik gangguan.
4. Keandalan (Reliability)  
Rele pengaman harus dapat bekerja saat terjadi gangguan dan tidak bekerja saat sistem berjalan normal. Keandalan rele yang baik adalah 90-99 %. Angka tersebut merupakan jumlah rele yang bekerja terhadap gangguan yang terjadi.
5. Ekonomis  
Pemilihan rele pengaman harus disesuaikan dengan penggunaannya, sehingga tidak terjadi pemborosan pada saat perencanaan nantinya.

## 2.3 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih (*over current relay*) merupakan rele pengaman yang akan bekerja ketika arus yang mengalir pada saluran lebih besar dari nilai *setting* pada rele [4]. Rele akan bekerja ketika  $I_f$  (arus gangguan)  $>$   $I_P$  (arus *setting*) kemudian mengirim sinyal membuka ke *CB*. Sedangkan saat  $I_f$  (arus gangguan)  $<$   $I_P$  (arus *setting*) rele tidak akan bekerja.

Penggunaan rele arus lebih ini biasanya terdapat pada sistem tenaga listrik dan peralatan tenaga listrik, seperti system distribusi, sistem transmisi, generator, motor, dan transformator. Dengan memasang rele arus lebih pada sistem, maka bagian – bagian dari sistem dapat terlindungi ketika terjadi gangguan dan membuat arus yang mengalir lebih besar daripada *setting* pada rele. Terdapat tiga karakteristik dari rele arus lebih, yaitu, yaitu rele arus lebih waktu terbalik (*invers*), rele arus lebih waktu tertentu (*definit*), dan rele arus lebih waktu seketika (*instantaneous*) [1].

### 2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (Invers)

Rele arus lebih waktu terbalik (*invers*) memiliki karakteristik kerja adalah waktu operasi rele terbalik dengan besaran arus gangguan. Semakin besar arus gangguan maka waktu operasinya semakin kecil (semakin cepat), begitu pula sebaliknya ketika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele semakin besar (semakin lama) [3]. Karakteristik rele arus lebih waktu *invers* dapat dilihat dari kurva berikut :

C

**Gambar 2. 4** Karakteristik Rele Overcurrent Invers Time

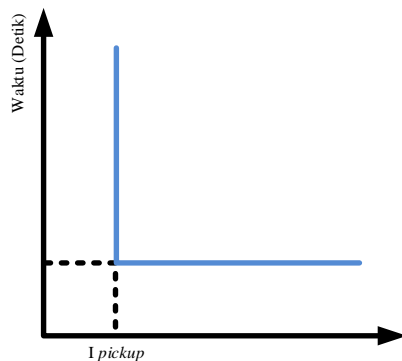
Pada gambar 2.7 terlihat karakteristik rele arus lebih waktu terbalik digambarkan pada TCC (*Time Current Curve*). Terdapat beberapa jenis kurva rele arus lebih waktu terbalik/*invers*, yaitu *very invers*, *extremely invers*, dan *standart inverse* seperti pada gambar 2.8

CC

**Gambar 2. 5** Kurva Karakteristik Standart Inverse, Very Inverse dan Extremely Invers

### 2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definit Time*)

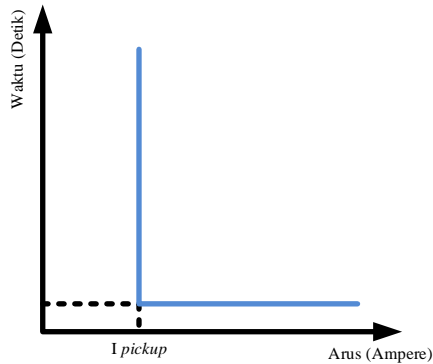
Pada rele arus lebih *definite time* kita dapat mengatur waktu operasi sesuai dengan yang kita inginkan berdasarkan level arusnya [4]. Jika arus yang mengalir melebihi *set point* maka rele akan bekerja sesuai dengan waktu yang telah diinginkan sebelumnya. Kurva karakteristik rele arus lebih *definite time* ditunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2. 6** Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

### 2.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous Time*)

Prinsip kerja dari rele arus lebih waktu *instant* adalah rele bekerja seketika saat ada gangguan yang melebihi batas arus yang diinginkan. Waktu operasinya berkisar antara 0,5 – 2 *cycle*, atau 0,01 – 0,04 detik [4]. Kurva karakteristik rele arus lebih waktu *instant* ditunjukkan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2. 7** Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

### 2.3.4 Pengaturan Rele Arus Lebih

Dalam aplikasinya, *setting* rele arus lebih biasa menggabungkan dua karakteristik yang telah dibahas sebelumnya, bisa *invers-definite* atau *invers-instantaneous*. Rele arus lebih dapat mengamankan gangguan yang disebabkan oleh beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

Untuk *setting* rele arus lebih waktu terbalik (*inverse*), terdapat dua parameter yang diatur, yaitu *setting pick up* dan *time dial*. *Setting pick up* ini harus lebih besar dari arus beban maksimum peralatan yang diamankan. Hal ini dilakukan agar waktu *invers* tidak beroperasi ketika arus beban maksimum. Batas *setting* waktu *invers* adalah sebagai berikut [3]:

$$1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,4 I_{FLA} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana  $I_{FLA}$  adalah arus beban maksimum dan  $I_{set}$  adalah arus *setting pickup* yang diinginkan. Untuk *setting* pada rele menggunakan *tap* yang tergantung dari besarnya rasio primer dan sekunder CT (*Current Transformer*). Berikut cara perhitungan *tap* :

$$tap = \frac{I_{set}}{Rasio\ CT} \dots\dots\dots (2.6)$$

Setelah besar nilai pickup telah ditentukan, selanjutnya melakukan *setting time dial*. *Time dial* digunakan untuk menentukan waktu operasi rele saat terjadi beban lebih. Berikut rumus untuk menghitung *time dial* berdasarkan jenis rele yang digunakan, yaitu Siemens 7SJ62

#### Siemens 7SJ62 berdasarkan *standard IEC* [10]

Inverse (Type A)

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,02} - 1} \times tp \dots\dots\dots (2.7)$$

Very Inverse (Type B)

$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^1 - 1} \times tp \dots\dots\dots (2.8)$$

Extremely Inverse (Type C)

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2 - 1} \times tp \dots\dots\dots (2.9)$$

Long Inverse (Type B)

$$t = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^1 - 1} \times tp \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- t        adalah    *Trip time (second)*
- tp       adalah    *Time dial*
- I        adalah    Arus hubung singkat maksimum
- I<sub>p</sub>      adalah    Arus *pickup*

Dikarenakan dlaam aplikasinya *setting* rele arus lebih menggabungkan dua karakteristiknya, maka selain *setting* invers, kita juga harus memperhatikan *setting instantaneous*. Untuk *setting pick up instant* ini digunakan nilai arus beban maksimum peralatan dan arus *short circuit* minimum [3].

$$1,6 I_{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc\ min\ bus} \dots\dots\dots (2.11)$$

## 2.4 Koordinasi Rele Pengaman

Rele pengaman tenaga listrik harus bekerja dengan saling terkoordinasi satu sama lainnya agar rele mampu mengamankan gangguan pada titik gangguan saja, tanpa memutus aliran daya di titik lainnya. Hal ini menyebabkan rele pengaman harus terkoordinasi satu



sama lain berdasarkan karakteristik arus dan waktu. Koordinasi dilakukan pertama pada beban paling akhir atau bawah, kemudian menuju ke atas di setiap tingkatan hingga menuju sumber (generator atau *utility*). Rele yang paling dekat dari titik gangguan yang harus bekerja terlebih dahulu namun jika rele ini gagal mengamankan gangguan, maka rele di atasnya harus mampu bekerja sebagai *backup*.

Koordinasi rele dapat dilihat dengan menggambarkan kurva karakteristik arus-waktu (TCC). Tiap kurva rele tidak boleh saling bersinggungan, sehingga tidak terjadi kesalahan trip saat terjadi gangguan. Jarak waktu (*interval*) antara rele utama dan *backup* nya tidak boleh terlalu lama. Berikut *interval* antar rele yang sesuai [5] :

**Tabel 2. 1** Interval Waktu Antar Rele

Komponen	Rele Konvensional	Rele Digital Berbasis Mikroprosesor
Waktu Circuit Breaker membuka (2-5 Cycle)	0,08 detik	0,08 detik
<i>Relay Overtravel</i>	0,1 detik	0 detik
Toleransi Rele dan Error <i>Setting</i>	0,17 detik	0,17 detik
Total Interval Waktu	0,35 detik	0,25 detik

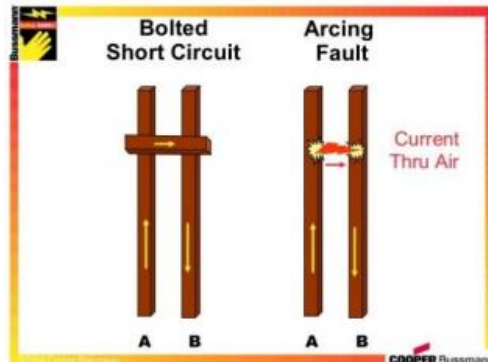
## 2.5 Rele Diferensial

Rele diferensial merupakan salah satu jenis rele pengaman. Rele ini bekerja berdasarkan Hukum Kirchoff II, dimana jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar. Rele diferensial bekerja saat arus yang masuk pada CT pertama tidak sama dengan arus yang keluar pada CT kedua. Secara umum rele diferensial dapat digunakan sebagai pengaman belitan transformator, belitan generator, belitan motor, saluran kabel/pendek, dan busbar[1].

## 2.6 Busur Api (*Arc Flash*)

*Arc-Flash* atau busur api adalah kondisi berbahaya berhubungan dengan pelepasan energi akibat dari *electrical arc* atau *bolted fault* [8]. *Electrical arc* sendiri muncul ketika terjadi kegagalan isolasi antara dua konduktor pada tegangan tertentu[9]. Sedangkan *bolted fault* terjadi saat terdapat konduktor yang melintang diantara konduktor fasanya. Saat terjadi hubung singkat, arus yang mengalir sangat besar, sehingga dapat menyebabkan kegagalan isolasi pada konduktor yang teraliri arus dan dapat timbul fenomena busur api. Busur api listrik yang muncul

merupakan bagian dari arus hubung singkat yang mengalir melalui udara yang terionisasi.



**Gambar 2. 8** Perbedaan Arc Fault dengan Bolted Fault [4]

Fenomena Arc-Flash sendiri sangat berbahaya baik untuk peralatan maupun manusia disekitarnya karena pelepasan energi dalam bentuk plasma busur listrik dengan temperatur yang sangat tinggi mencapai  $35.000^{\circ}\text{F}$  [7]. Jumlah energi yang dihasilkan bergantung dari level tegangan, arus hubung singkat yang muncul, dan waktu peralatan pengaman menetralkan gangguan. Semakin lama peralatan pengaman bekerja maka incident energy yang muncul dapat semakin besar. Pada gambar 2.9 terlihat efek yang ditimbulkan oleh *Arcing fault*.



**Gambar 2. 9** Efek yang Ditimbulkan Arc Fault [9]

## 2.6.1 Perhitungan Energi Busur Api Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002 [7]

Pada perhitungan energi *Arc-Flash* dengan menggunakan standar IEEE 1584-2002 [7] harus terlebih dahulu diketahui nilai *arcing fault*. Perhitungan *arcing fault* bergantung pada level tegangan pada bus yang terjadi hubung singkat.. Berikut Rumus perhitungan nilai *arcing fault*

Untuk aplikasi pada sistem dengan tegangan sama dengan atau dibawah 1 kV adalah :

$$\lg I_a = K + 0.662 \lg I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 + 0.5588 V \cdot (\lg I_{bf}) \dots 0.00304 G \cdot (\lg I_{bf}) \quad (2.12)$$

Untuk aplikasi pada sistem dengan tegangan lebih dari 1 kV adalah :

$$\lg I_a = 0.00402 + 0.983 \lg I_{bf} \dots (2.13)$$

Keterangan :

- $\lg$  :  $\log_{10}$
- $I_a$  : arus *arcing* (kA)
- $K$  : Konstanta. -0,153 untuk konfigurasi terbuka dan -0,097 untuk konfigurasi box
- $I_{bf}$  : *bolted fault current* saat gangguan tiga fasa (simetris RMS) (kA)
- $V$  : tegangan sistem (kV)
- $G$  : jarak antar konduktor (mm)

Dengan diketahuinya nilai *arcing current* maka nilai dari *incident energy* normalisasi dapat dihitung. Persamaan ini berdasarkan data normalisasi untuk waktu *arcing* selama 0,2 detik dan jarak dari titik *arcing* yang mungkin ke manusia adalah 610 mm

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \dots (2.14)$$

Keterangan :

- $E_n$  : incident energy normalized (J/cm<sup>2</sup>)
- $K_1$  : -0,792 untuk konfigurasi terbuka (no enclosure); -0,555 untuk konfigurasi box (enclosed equipment)
- $K_2$  : 0 untuk sistem ungrounded and high-resistance grounded; -0,113 untuk sistem grounded
- $G$  : jarak/celah antar konduktor (mm)

Dengan demikian dapat diketahui nilai energi  $E_n$ :

$$E_n = 10 \lg E_n \dots\dots\dots(2.15)$$

Setelah nilai  $E_n$  didapatkan, dapat dihitung besar insiden energi  $E$  digunakan persamaan :

$$E = 4.184 C_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right) \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

- $E$  : *incident energy* (J/cm<sup>2</sup>)
- $C_f$  : faktor pengali 1,0 untuk tegangan diatas 1kV, dan 1,5 untuk tegangan dibawah 1kV
- $E_n$  : *incident energy normalized*
- $t$  : waktu arcing (detik)
- $D$  : jarak dari titik *arc* ke pekerja (mm)
- $x$  : jarak *exponent*

Dari rumus yang diperoleh untuk menghitung nilai *arcing fault* dan *incident energy* terdapat parameter – parameter yang harus terlebih dahulu diketahui. Tetapi nilai dari parameter – parameter tersebut sudah terdapat nilai tipikal nya sesuai dengan standar IEEE 1584 – 2002. Tipikal gap, jarak kerja dan faktor peralatan dapat dilihat pada Tabel 2.2, Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 dibawah ini.

**Tabel 2. 2** Tipikal Gap Antar Bus

Kelas Peralatan	Tipikal Gap Antar Bus
15 kV <i>Switchgear</i>	152
5 kV <i>Switchgear</i>	104
<i>Low- voltage Switchgear</i>	32
<i>Low- voltage MCC dan Panelboards</i>	25
Kabel	13
Lainnya	Tidak Tersedia

**Tabel 2. 3** Tipikal Jarak Kerja

Kelas Peralatan	Tipikal Jarak Kerja
15 kV <i>Switchgear</i>	910
5 kV <i>Switchgear</i>	910
<i>Low- voltage Switchgear</i>	610
<i>Low- voltage MCC dan Panelboards</i>	455
Kabel	455
Lainnya	Ditentukan di Tempat

**Tabel 2. 4** Faktor Peralatan dan Kelas Tegangan

Tegangan Sistem (kV)	Kelas Peralatan	Tipikal Gap Antar Bus (mm)	Jarak Faktor X
0,208-1	<i>Open Air</i>	10-40	2,000
	<i>Switchgear</i>	32	1,473
	MCC dan <i>Panels</i>	25	1,641
	Kabel	13	2,000
> 1-5	<i>Open Air</i>	13-102	2,000
	<i>Switchgear</i>	13-102	0,973
	Kabel	13	2,000
>5-15	<i>Open Air</i>	13-153	2,000
	<i>Switchgear</i>	153	0,973
	Kabel	13	2,000

### 2.6.2 *Lee Method*[7]

Jika tegangan sistem lebih dari 15 kV dan range gap antar busbar lebih dari 153 mm, maka perhitungan *incident energy* menggunakan teori *Lee Method*. Sesuai yang terdapat pada standar IEEE Std. 1584-2002. Persamaan *Lee Method* sebagai berikut:

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left( \frac{t}{D^2} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

- E : *incident energy* (J/cm<sup>2</sup>)
- V : tegangan sistem (kV)
- t : waktu arcing (detik)
- D : jarak dari titik *arc* ke pekerja (mm)

$I_{bf}$  : *bolted fault current* pada gangguan tiga fasa (simetris RMS)  
(kA)

### 2.6.3 Jarak Aman Perlindungan *Flash Protection Boundary*

Untuk menjaga keselamatan pekerja disekitar peralatan yang bertegangan, diperlukan pendekatan atau aturan untuk menentukan batasan – batasan jarak kerja antara peralatan dan pekerja. *The National Fire Protection Association* telah menentukan beberapa batasan perlindungan untuk pekerja [8]

1. *Flash Protection Boundary*

Saat terjadi fenomena busur api, pekerja yang berada pada batasan ini masih bisa terkena dampak luka bakar tingkat kedua jika tidak menggunakan alat perlindungan diri saat tingkat energinya  $5 \text{ J/cm}^2$  ( $1,2 \text{ cal/cm}^2$ ).

2. *Limited Approach Boundary*

Merupakan batas jarak pendekatan dari bagian konduktor bertegangan atau rangkaian yang terdapat bahaya sengatan listrik.

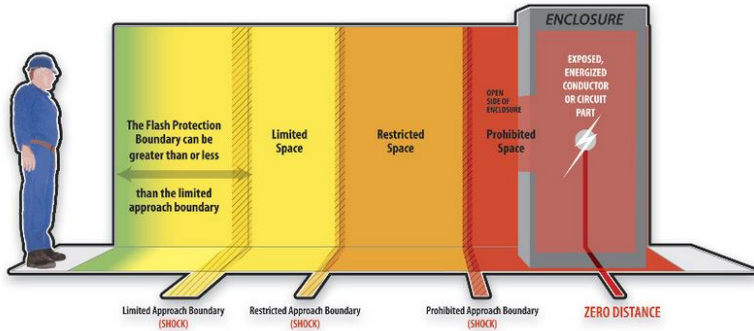
3. *Restricted Approach Boundary*

Merupakan pendekatan batas jarak antara konduktor listrik bertegangan yang terdapat peningkatan resiko terkena sengatan listrik karena busur api, dikombinasi dengan gerakan pekerja yang tidak disengaja.

4. *Prohibited Approach Boundary*

Merupakan pendekatan batasan jarak terhadap konduktor listrik bertegangan dimana pekerja dianggap melakukan kontak langsung dengan konduktor listrik bertegangan.

Untuk lebih jelasnya mengenai batasan *flash protection boundary* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



**Gambar 2. 10** Batas Pendekatan Jarak Flash Protection Boundary [4]

#### 2.6.4 Perhitungan *Flash Protection Boundary* [7]

Untuk mengetahui batas pendekatan jarak aman terhadap bahaya *arc flash* (*Flash Protection Boundary*) dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan yang sesuai standar IEEE 1584-2002 sebagai berikut [7]:

$$D_B = \left[ 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk *Lee Method* sebagai berikut :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left( \frac{t}{E_B} \right)} \dots\dots\dots (2.15)$$



Keterangan :

- $D_B$  : jarak batasan dari titik *arcing* (mm)
- $C_f$  : factor pengali : 1,0 untuk tegangan diatas 1 kV  
1,5 untuk tegangan dibawah 1 kV
- $E_n$  : *incident energy normalized*
- $t$  : waktu (detik)
- $x$  : jarak *exponent*
- $E_B$  : insiden energy dalam  $J/cm^2$  pada jarak batasan. Dapat diset pada nilai  $5,0 J/cm^2$

### 2.6.5 Pengkategorian Level Energi Busur Api Sesuai dengan Standar NFPA 70E



Besarnya energi busur api yang muncul dapat dikategorikan berdasarkan besaran yang muncul. Standar NFPA 70E telah mengkategorikan tingkatan insiden energi yang muncul serta peralatan pengaman diri (*Personal Protective Equipment*) yang harus digunakan sesuai tingkat energi busur api yang muncul. Berikut tingkatan energi sesuai besarnya beserta rekomendasi PPE :

**Tabel 2. 5** Pengelompokan Kategori Bahaya Busur Api Berdasarkan NFPA 70E


Kategori	Level Energi (Cal/cm <sup>2</sup> )	<i>Personal Protective Equipment</i> (PPE)	Contoh PPE yang dapat digunakan
0	0 – 1,2	Pelindung mata Pelindung telinga Sepatu <i>safety leather</i> Kemeja lengan panjang Celana panjang	
1	1,2 – 4	Pakaian tahan api Pelindung kepala Pelindung mata Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung telinga Celana panjang	



**Tabel 2. 6** Pengelompokan Kategori Bahaya Busur Api Berdasarkan NFPA 70E (lanjutan)

Kategori	Level Energi (Cal/cm <sup>2</sup> )	<i>Personal Protective Equipment</i> (PPE)	Contoh PPE yang dapat digunakan
2	4 – 8	Pelindung wajah dan kepala Pakaian tahan api Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang	
3	8 – 25	<i>Flash suit hood</i> Pelindung wajah dan kepala Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pakaian tahan api Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang	

**Tabel 2. 7** Pengelompokan Kategori Bahaya Busur Api Berdasarkan NFPA 70E (Lanjutan)

Kategori	Level Energi (Cal/cm <sup>2</sup> )	<i>Personal Protective Equipment (PPE)</i>	Contoh PPE yang dapat digunakan
<b>4</b>	25 - 40	<p><i>Up to 40 cal/cm<sup>2</sup></i>  <i>Flash suit hood</i></p> <p>Pelindung wajah dan kepala</p> <p>Sarung tangan <i>leather</i></p> <p>Sepatu <i>safety leather</i></p> <p>Pakaian tahan api</p> <p>Pelindung mata</p> <p>Pelindung telinga</p> <p>Celana panjang</p>	

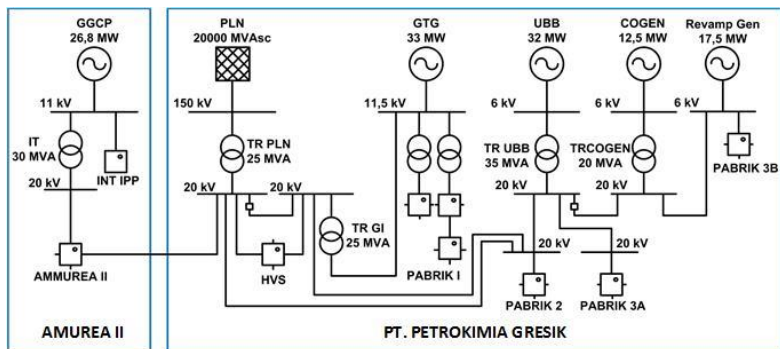
## BAB III

### SISTEM KELISTRIKAN PABRIK AMMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK

PT. Petrokimia Gresik merupakan perusahaan yang memproduksi berbagai jenis pupuk dan bahan kimia. Mengingat banyaknya produk yang dihasilkan oleh PT. Petrokimia Gresik, maka unit produksi dari PT. Petrokimia Gresik terbagi menjadi beberapa pabrik, salah satunya pada unit produksi pabrik III. Pada unit produksi pabrik III terbagi menjadi 2 bagian, yaitu pabrik IIIA dan IIIB yang sama – sama memproduksi pupuk jenis Amurea dan Urea.

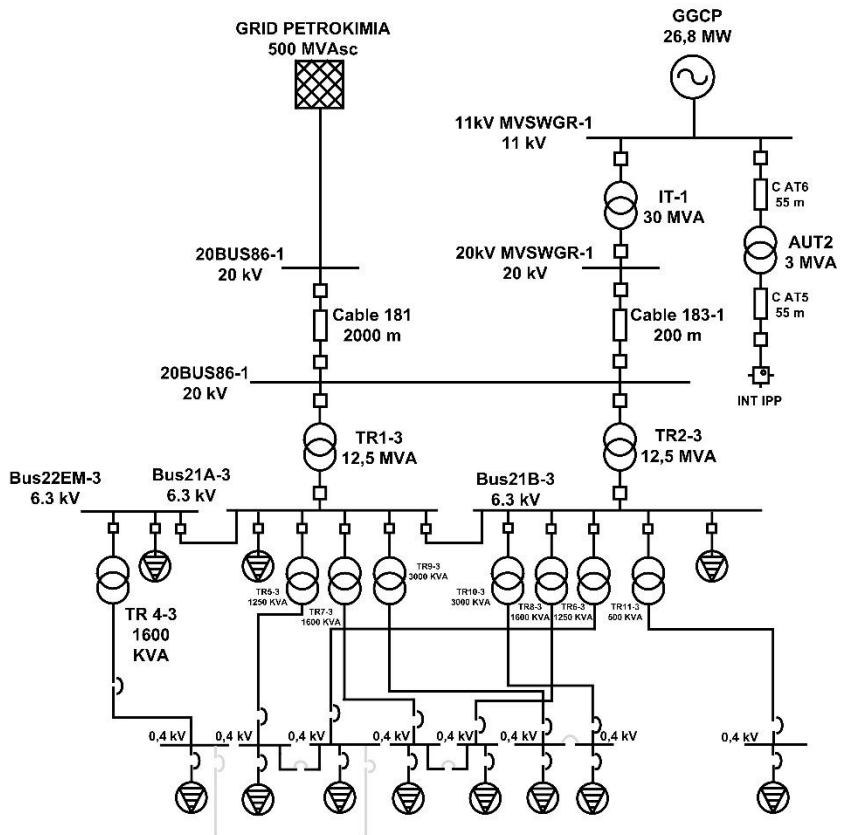
#### 3.1 Sistem Kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

Pabrik Ammurea II merupakan unit produksi yang didirikan oleh PT. Petrokimia Gresik sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produksinya. Pada Pabrik Amurea II sistem kelistrikan disuplai dari 2 buah sumber, yaitu PLN dan pembangkit GGCP (Gresik Gas Cogeneration Plant) berkapasitas 1x26,8 MW yang bekerja secara paralel. Sistem kelistrikan pada pabrik ini bertipe sistem radial yang terdiri dari tiga level tegangan bus, yaitu 20 kV; 6,3 kV; dan 0,4 kV. Pada Gambar 3.1 ditunjukkan *single line diagram* sederhana PT. Petrokimia Gresik secara keseluruhan, dimana terlihat pada Pabrik Ammurea II disuplai oleh dua buah sumber.



**Gambar 3. 1** Single Line Diagram Sederhana PT. Petrokimia Gresik

Setelah diketahui letak pabrik Amurea II pada sistem Petro Raya secara keseluruhan, berikut ini adalah *single line diagram* sederhana dari Pabrik Ammurea II.



**Gambar 3. 2** Single Line Diagram Sederhana Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

Terlihat pada *single line diagram* sederhana bahwa sumber listrik pada Pabrik Amurea II disuplai oleh pembangkit GGCP 26,8 MW dan *grid* PLN. PT. Petrokimia Gresik mendapatkan suplai dari PLN sebesar 20.000 MVA<sub>sc</sub> pada tegangan 15 kV untuk keseluruhan sistem Petro Raya. Tetapi pada sistem Pabrik Ammurea II dipergunakan 500 MVA<sub>sc</sub> pada tegangan 20 kV. Hal ini dikarenakan distribusi daya dari gardu induk Petrokimia yang duplai PLN menuju unit – unit produksi dilakukan pada

tegangan 20 kV. Penentuan kapasitas grid yang dipergunakan sebesar 500 MVAsc pada tegangan 20 kV, adalah karena trafo maksimum yang dipergunakan oleh PLN pada tegangan 20 kV adalah 60 MVA dengan impedansi maksimum 12,5%. Sehingga, MVAsc *grid* tersebut sebesar :

$$MVAsc = \frac{60\text{ MVA}}{12,5\%} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$MVAsc = 480$$

Untuk mempermudah, maka digunakan nilai 500 MVAsc untuk tegangan bus 20 kV.

### 3.2 Kapasitas Pembangkitan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

Pada Pabrik Ammurea II mendapatkan suplai daya dari dua sumber PLN dan Pembangkit GGCP (Gresik Gas *Cogeneration Plant*) dengan kapasitas 26,8 MW. Dalam operasinya, GGCP bertindak sebagai sumber utama untuk suplai sistem kelistrikan di Pabrik Ammurea II.

Berikut ini adalah data spesifikasi generator GGCP-1 pada Pabrik Amurea II.

**Tabel 3. 1** Data Spesifikasi Generator GGCP-1

Data Spesifikasi Generator GGCP-1	
<i>Source ID</i>	GGCP-1
Tipe Generator	Gas Turbo
<i>Rating</i>	26,8 MW
MVA	33,5
Tegangan	11 kV
<i>% Power Factor</i>	80 %
% Efisiensi	95 %
Jumlah Kutub	4
Tipe Rotor	Salient Pole
RPM	1500
Frekuensi	50 Hz
FLA	1758 A
Tipe Exciter	DC1
<i>Xd (Direct-axis Synchronous Reactance)</i>	198,2 %

**Tabel 3. 1** Data Spesifikasi Generator GGCP-1 (lanjutan)

Data Spesifikasi Generator GGCP-1	
$X_d'$ ( <i>direct-axis transient synchronous</i> )	24,5 %
$X_d''$ ( <i>direct-axis sub-transient synchronous</i> )	17,3 %
Inertia	1,481

### 3.3 Sistem Distribusi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik memiliki sistem distribusi bertipe radial dengan 4 level tegangan, dimana tegangan menengahnya adalah 20 kV, 11 kV, 6,3 kV dan tegangan rendahnya adalah 0,4 kV.

Berikut ini adalah data *bus* pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik yang diperlihatkan pada Tabel 3.2 :

**Tabel 3. 2** Data Bus

No.	ID Bus	Rating Tegangan
1.	20BUS86-1-1	20 KV
2.	20kV MVSWGR-1-1	20 KV
3.	BUS11A-3-1-1	20 KV
4.	11kV MVSWGR-1-1	11 KV
5.	BUS22EM-3-1-1	6,3 KV
6.	BUS21A-3-1-1	6,3 KV
7.	BUS21B-3-1-1	6,3 KV
8.	BUS6KV MVSWGR	6 KV
9.	35EM-3-1-1	0,4 KV
10.	33A-4-1-1	0,4 KV
11.	31B-4-1-1	0,4 KV
12.	32A-4-1-1	0,4 KV
13.	32B-4-1-1	0,4 KV
14.	33A-4-1-1	0,4 KV
15.	PDP-342-3-1-1	0,4 KV
16.	51-3-1-1	0,4 KV

**Tabel 3. 2** Data Bus (lanjutan)

No.	ID Bus	Rating Tegangan
17.	52-3-1-1	0,4 KV
18.	MCC WTP-3-1-1	0,4 KV
19.	MCC WWTP-3-1-1	0,4 KV
20.	LVS-43EM-3-1-1	0,4 KV
21.	13-1-3-1-1	0,4 KV
22.	33B-4-1-1	0,4 KV
23.	MCC CONVEYOR-3-1-1	0,4 KV
24.	34-4-1-1	0,4 KV
25.	EMER SWGR	0,4 KV
26.	LV1 SWGR	0,4 KV
27.	LV2 SWGR	0,4 KV

Untuk mendistribusikan daya menuju beban dengan level tegangan yang berbeda – beda, maka diperlukan peralatan transformator untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Pada Tabel 3.3 di bawah ini merupakan data transformator yang terdapat pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik :

**Tabel 3. 3** Data Transformator

No.	ID Transformator	Tegangan (kV)		Rating MVA	X/R	%Z
		Primer	Sekunder			
1.	TR1-3-1-1	20	6,3	12,5	13	7,5
2.	TR2-3-1-1	20	6,3	12,5	13	7,5
3.	IT-1-1-1	11	20	30	1,5	11
4.	AUT 2	11	6	3	6	11
5.	TR4-3-1-1	6,3	0,4	1,6	6	6,25
6.	TR5-3-1-1	6,3	0,4	1,25	3,5	4,5
7.	TR6-3-1-1	6,3	0,4	1,25	3,5	4,5
8.	TR7-3-1-1	6,3	0,4	1,6	10	5,5
10.	TR8-3-1-1	6,3	0,4	1,6	10	5,5
11.	TR9-3-1-1	6,3	0,4	3	10	7

**Tabel 3.3** Data Transformator (lanjutan)

No.	ID Transformator	Tegangan (kV)		Rating MVA	X/R	%Z
		Primer	Sekunder			
12.	TR10-3-1-1	6,3	0,4	3	10	7
13.	TR11-3-1-1	6,3	0,4	0,5	1,5	4
14.	LV1 TRAFO	6	0,4	0,8	3,5	5
15.	LV2 TRAFO	6	0,4	1	3,5	5

Dalam mengalirkan daya menuju beban – beban tertentu, diperlukan kabel. Pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik terdapat bermacam – acam jenis kabel yang digunakan. Berikut pada tabel 3.4 adalah beberapa beberapa data kabel yang digunakan pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik :

**Tabel 3. 4** Data Kabel

BUS 11kV MVSWGR-1-1-1					
CABLE 20-1-3- 1-1	Size	150 mm <sup>2</sup>	CABLE 21-1-3-1- 1	Size	70 mm <sup>2</sup>
	Lenght	55 m		Lenght	55 m
	No. Of Conductor	3		No. Of Conductor	1
	R (Ω/km)	0,159		R (Ω/km)	0,343
	X (Ω/km)	0,113		X (Ω/km)	0,115
BUS 11A-3-1-1					
CABLE 20-1-3- 1-1	Size	150 mm <sup>2</sup>	CABLE 21-1-3-1- 1	Size	150 mm <sup>2</sup>
	Lenght	50 m		Lenght	50 m
	No. Of Conductor	2		No. Of Conductor	2
	R (Ω/km)	0,124		R (Ω/km)	0,124
	X (Ω/km)	0,1		X (Ω/km)	0,1
	C (μF/km)	0,25		C (μF/km)	0,25



**Tabel 3.4** Data Kabel (lanjutan)

BUS 21A-3-1-1			BUS 21B-3-1-1		
342-TR9- MP-3-1-1	<i>Size</i>	240 mm <sup>2</sup>	P21201A- MP-3-1-1	<i>Size</i>	95 mm <sup>2</sup>
	<i>Lenght</i>	431 m		<i>Lenght</i>	700 m
	<i>No. Of Conductor</i>	1		<i>No. Of Conductor</i>	1
	R (Ω/km)	0,0754		R (Ω/km)	0,193
	X (Ω/km)	0,09		X (Ω/km)	0,1
	C (μF/km)	0,45		C (μF/km)	0,31
BUS 22EM-3-1-1			BUS 35EM-5-1-1		
P20211A- MP-3-1-1	<i>Size</i>	35 mm <sup>2</sup>	P20211A- MP-3-1-1	<i>Size</i>	6 mm <sup>2</sup>
	<i>Lenght</i>	471 m		<i>Lenght</i>	155 m
	<i>No. Of Conductor</i>	1		<i>No. Of Conductor</i>	1
	R (Ω/km)	0,524		R (Ω/km)	3,08
	X (Ω/km)	0,11		X (Ω/km)	0,09
	C (μF/km)	0,2		C (μF/km)	-
BUS 33A-4-1-1			BUS 33B-4-1-1		
DP- WWTP- LP-3-1-1	<i>Size</i>	240 mm <sup>2</sup>	P20211A- MP-3-1-1	<i>Size</i>	240 mm <sup>2</sup>
	<i>Lenght</i>	535 m		<i>Lenght</i>	354 m
	<i>No. Of Conductor</i>	2		<i>No. Of Conductor</i>	3
	R (Ω/km)	0,0754		R (Ω/km)	0,0754
	X (Ω/km)	0,08		X (Ω/km)	0,08
	C (μF/km)	-		C (μF/km)	-

### 3.4 Data Beban pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

Pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik terdapat beban – beban elektrik yang sangatlah banyak dengan kpasitas yang berbeda – beda. Beban dengan kapasitas yang cukup besar terdapat pada level tegangan 6,3 kV. Sedangkan pada tegangan 0,4 kV terdapat banyak sekali beban – beban *low voltage* tetapi dengan jumlah yang cukup banyak. Jumlah beban motor keseluruhan pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik sebanyak 182 buah motor listrik.

Berikut ditunjukkan pada tabel 3.5 adalah data beberapa beban motor dengan kapasitas yang cukup besar di Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik :

**Tabel 3. 5** Data Beban Motor

ID Motor	Kapasitas	Rating Tegangan (kV)
107-JAM-3	0,41 MW	6
E21101A-3	0,25 MW	6
E21101B-3	0,25 MW	6
E21101C-3	0,25 MW	6
E21101D-3	0,25 MW	6
E21101E-3	0,25 MW	6
E21201A-3	0,185 MW	6
E21201B-3	0,185 MW	6
K31001C-3	0,395 MW	6
P20211B-3	0,25 MW	6
P21201A-3	1,67 MW	6
U-GA101B-3	0,8 MW	6
U-GA102A-3	0,56 MW	6
U-GA502A-3	0,16 MW	6
U-GB302-3	0,42 MW	6
101-JLJ-3	0,09 MW	0,4
118-JA-3	0,09 MW	0,4
121-J-3	0,132 MW	0,4
124-JA-3	0,09 MW	0,4
MP20204A-3	0,09 MW	0,4

Selain beban berupa motor, pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik juga terdapat beban *static*. Jumlah *static load* pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik adalah sebanyak 127 beban yang terdapat pada level tegangan 0,4 kV. Pada Tabel 3.6 ditunjukkan beberapa *static load* yang terdapat pada Pabrik Ammurea II dengan rating yang cukup besar.

**Tabel 3. 6** Data Beban Static Load

ID Static Load	Kapasitas	Rating Tegangan (kV)
101-J-LH1-3-1-1	45 kVA	0,4
103-J-LH1-3-1-1	45 kVA	0,4
350-LP3-3-1-1	20 kVA	0,4
550-DP04-3-1-1	223 kVA	0,4
560-LP05-3-1-1	37,7 kVA	0,4
20000/HVAC-3-1-1	22,2 kVA	0,4
34000-HVAC-3-1-1	167 kVA	0,4
34000UPS1-2-3-1-1	141 kVA	0,4
34200-HVAC-3-1-1	188 kVA	0,4
35000-HVAC-3-1-1	278 kVA	0,4
55000/HVAC-3-1-1	167 kVA	0,4
EMERGENCY LIGHTING	50 kVA	0,4
HVAC	30 kVA	0,4
HVAC-AP-3-1-1	141 kVA	0,4
L48002A-3-1-1	28,6 kVA	0,4
L48004A-3-1-1	45,7 kVA	0,4
MAIN LIGHTING	100 kVA	0,4
WO-20000JB-3-1-1	71,1 kVA	0,4
Z06000-HVAC-3-1-1	35,3 kVA	0,4

Pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik juga terdapat pula beban *lump load*. Jumlah beban *lump load* yang terpasang sebanyak 17 buah yang terpasang pada tegangan bus 0,4 kV. Berikut ini adalah beberapa data *lump load* yang terdapat pada Pabrik Ammurea II.

**Tabel 3. 7** Data Beban Lump Load

ID Static Load	Kapasitas	Rating Tegangan (kV)
560-DP02-3-1-1	90,1 kVA	0,4
COOLING TOWER	244 kVA	0,4
GTG AUX.	205 kVA	0,4
IA & PA	134 kVA	0,4

**Tabel 3.7** Data Beban Lump Load (lanjutan)

ID Static Load	Kapasitas	Rating Tegangan (kV)
MAIN PDB	100 kVA	0,4
UTILITY MCC	340 kVA	0,4
WTP	238 kVA	0,4

Pada Pabrik Ammurea II juga terdapat pula beban dengan jenis *motor operated valve* (MOV). Jumlah beban jenis MOV adalah sebanyak 22 buah yang terdapat pada level tegangan 0,4 kV. Berikut ini adalah beberapa data MOV yang terdapat pada Pabrik Ammurea II, terlihat pada Tabel 3.8 di bawah ini :

**Tabel 3. 8** Data Beban Motor Operated Valve

ID <i>Motor Operated Valve</i>	Kapasitas	Rating Tegangan (kV)
04MOV-1005-3-1-1	5,717 HP	0,4
04MOV-1007-3-1-1	9,287 HP	0,4
04MOV-1008-3-1-1	5,717 HP	0,4
04MOV-1011-3-1-1	9,287 HP	0,4
04MOV-1015-3-1-1	9,287 HP	0,4
04MOV-1051-3-1-1	5,717 HP	0,4
04MOV-1052-3-1-1	9,287 HP	0,4
04MOV-1053-3-1-1	5,717 HP	0,4
20XV-101/A-3-1-1	0,797 HP	0,4
20XV-201/A-3-1-1	0,797 HP	0,4

### **3.5 Arus Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik**

Dalam melakukan *setting* rele pengaman tentu diperlukan nilai dari arus hubung singkat yang bisa terjadi dalam sistem kelistrikan. Penentuan arus hubung singkat dilakukan dengan bantuan *software* ETAP 12.6. Arus hubung singkat yang diperlukan dalam *setting* rele pengaman adalah arus hubung singkat maksimum 3 fasa selama 4 *cycle*, dan arus hubung singkat minimum *line to line* selama 30 *cycle*

### 3.5.1 Arus Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum yang digunakan adalah arus hubung singkat 3 fasa saat keadaan *transient* atau saat 4 *cycle*. Dipilih arus hubung singkat maksimum saat 4 *cycle* karena sesuai dengan IEEE Std 242-2001, waktu CB memutus setelah mendapat perintah dari rele adalah 1,5 *cycle* sampai 8 *cycle*. Rele harus mampu bekerja saat terjadi hubung singkat maksimum.

Berikut ini merupakan hasil simulasi arus hubung singkat maksimum 4 *cycle* pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik.

**Tabel 3. 9** Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Maksimum 4 *cycle*

No.	ID Bus/Peralatan	Tegangan	Arus Hubung Singkat Maksimum 4 <i>cycle</i>
1.	20BUS86-1-1-1	20 kV	18,09 kA
2.	20kV MVSWGR-1-1-1	20 kV	15,55 kA
3.	Bus11A-3-1-1	20 kV	15,7 kA
4.	11kV MVSWGR-1-1-1	11 kV	19,03 kA
5.	Bus22EM-3-1-1	6,3 kV	13,71 kA
6.	Bus21A-3-1-1	6,3 kV	13,71 kA
7.	Bus21B-3-1-1	6,3 kV	13,95 kA
8.	Bus35EM-5-1-1	0,4 kV	35,52 kA
9.	Bus31A-4-1-1	0,4 kV	34,47 kA
10.	Bus31B-4-1-1	0,4 kV	34,45 kA
11.	Bus32A-4-1-1	0,4 kV	36,67 kA
12.	Bus32B-4-1-1	0,4 kV	36,49 kA
13.	Bus33A-4-1-1	0,4 kV	47,64 kA
14.	LVS-43EM-3-1-1	0,4 kV	41,42 kA
15.	Bus13-1-3-1-1	0,4 kV	9,35 kA
16.	MCC WWTP-3-1-1	0,4 kV	6,6 kA
17.	MCC WTP-3-1-1	0,4 kV	43,79 kA
18.	Bus52-3-1-1	0,4 kV	32,75 kA
19.	Bus51-3-1-1	0,4 kV	32,75 kA
20.	PDP-342-3-1-1	0,4 kV	32,75 kA
21.	Bus33B-4-1-1	0,4 kV	46,5 kA
22.	MCC CONVEYOR-3-1-1	0,4 kV	13,14 kA
23.	Bus34-4-1-1	0,4 kV	16,72 kA
24.	6kV MVSWGR	0,4 kV	2,68 kA
25.	EMER SWGR	0,4 kV	15,38 kA
26.	LV1 SWGR	0,4 kV	15,38 kA
27.	LV2 SWGR	0,4 kV	17,23 kA

### 3.5.2 Arus Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum yaitu arus hubung singkat antar fasa (*line to line*) saat kondisi *steady state* atau saat 30 cycle. Data ini digunakan untuk melakukan *setting* rele *overcurrent* 50 saat waktu instan. Sehingga saat terjadi gangguan arus hubung singkat minimum, maka rele akan bekerja secara *instant* untuk memutus gangguan dengan waktu yang telah ditentukan sebelumnya.

Dibawah ini adalah hasil simulasi arus hubung singkat minimum *line to line* 30 cycle pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik.

**Tabel 3. 10** Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle

No.	ID Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle
1.	20BUS86-1-1-1	20 kV	14,77 kA
2.	20kV MVSWGR-1-1-1	20 kV	12,54 kA
3.	Bus11A-3-1-1	20 kV	12,66 kA
4.	11kV MVSWGR-1-1-1	11 kV	14,73 kA
5.	Bus22EM-3-1-1	6,3 kV	10,55 kA
6.	Bus21A-3-1-1	6,3 kV	10,55 kA
7.	Bus21B-3-1-1	6,3 kV	10,55 kA
8.	Bus35EM-5-1-1	0,4 kV	28,29 kA
9.	Bus31A-4-1-1	0,4 kV	28,64 kA
10.	Bus31B-4-1-1	0,4 kV	28,65 kA
11.	Bus32A-4-1-1	0,4 kV	29,74 kA
12.	Bus32B-4-1-1	0,4 kV	29,69 kA
13.	Bus33A-4-1-1	0,4 kV	38,63 kA
14.	LVS-43EM-3-1-1	0,4 kV	33,66 kA
15.	Bus13-1-3-1-1	0,4 kV	8,1 kA
16.	MCC WWTP-3-1-1	0,4 kV	6,03 kA
17.	MCC WTP-3-1-1	0,4 kV	35,35 kA
18.	Bus52-3-1-1	0,4 kV	27,09 kA
19.	Bus51-3-1-1	0,4 kV	27,09 kA
20.	PDP-342-3-1-1	0,4 kV	27,09 kA
21.	Bus33B-4-1-1	0,4 kV	38,63 kA
22.	MCC CONVEYOR-3-1-1	0,4 kV	11,61 kA
23.	Bus34-4-1-1	0,4 kV	14,32 kA

**Tabel 3. 10** Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Minimum 30 *cycle* (Lanjutan)

No.	ID Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat Minimum 30 <i>cycle</i>
1.	20BUS86-1-1-1	20 kV	14,77 kA
2.	20kV MVSWGR-1-1-1	20 kV	12,54 kA
3.	Bus11A-3-1-1	20 kV	12,67 kA
4.	11kV MVSWGR-1-1-1	11 kV	14,74 kA

***----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----***



## **BAB IV**

### **HASIL SIMULASI DAN ANALISA BUSUR API PABRIK AMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK**

Pada tugas akhir ini pemodelan sistem dilakukan dengan bantuan *software* ETAP 12.6. Pada ETAP dilakukan penggambaran *single line diagram* dari sistem kelistrikan Pabrik Amurea II. Seluruh data beban yang telah didapat sebelumnya kemudian dimasukkan. Setelah itu dilakukan analisa koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan Pabrik Amurea II. Setelah seluruh sistem pengaman telah terkoordinasi, selanjutnya dilakukan analisa bahaya energi busur api yang dapat timbul ketika terjadi gangguan hubung singkat dalam sistem.

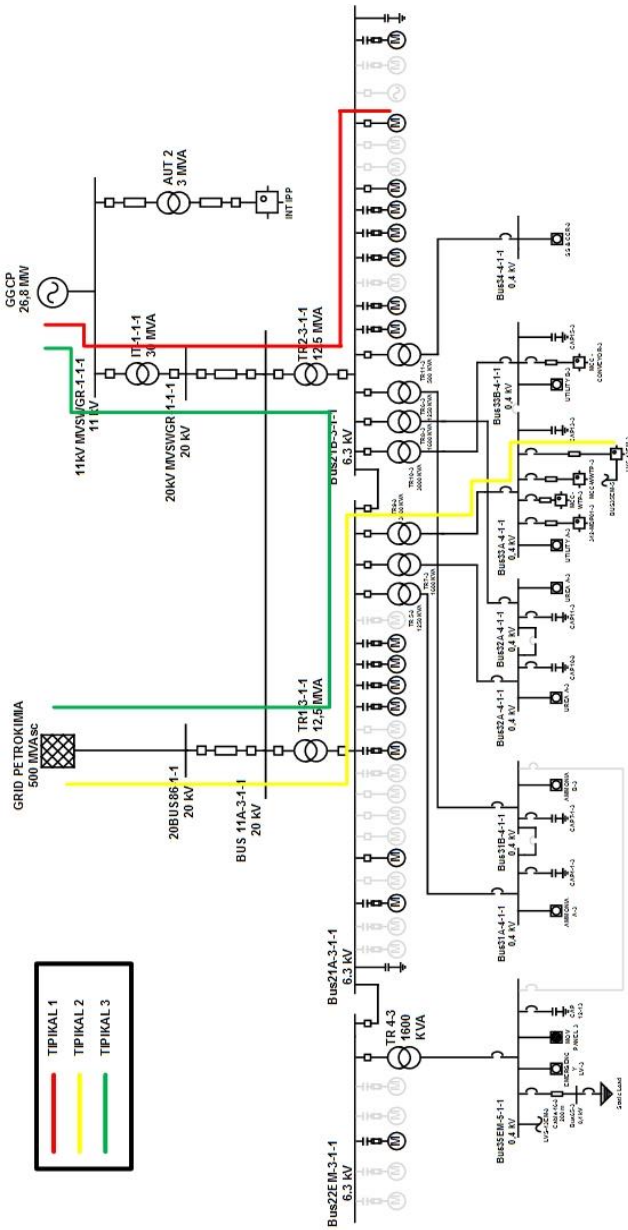
#### **4.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik**

Pemilihan tipikal dilakukan dalam analisa koordinasi proteksi dimaksudkan untuk mempermudah dalam melakukan *setting* koordinasi. Pemilihan tipikal dilakukan pada bagian sistem yang dianggap mewakili dari keseluruhan sistem yang ada. Pada *plant* Amurea II dilakukan pemilihan 3 tipikal. Pemilihan ini dilakukan dengan pertimbangan beban terbesar pada sistem, beban dengan jarak terjauh dari sumber, dan saluran yang menghubungkan antara generator dengan *grid*. Berikut ini penjelasan tentang masing – masing tipikal yang telah ditentukan pada sistem kelistrikan Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik :

- Tipikal 1 : Koordinasi sistem pengaman dari *generator* GGCP-1 menuju beban motor terbesar P21201A-3-1-1 dengan rating 1670 kW pada bus 21B-3-1-1 bertegangan 6,3 kV. Pemilihan ini dilakukan berdasarkan saluran terpendek dengan beban terbesar pada sistem.
- Tipikal 2 : Koordinasi sistem proteksi dari *grid* Petrokimia menuju ke beban terjauh, yaitu beban *static* 270-ELP10-3-1-1 dengan rating 15,6 kVA. Pemilihan ini dilakukan berdasarkan saluran terpanjang dari suber *grid* Petrokimia menuju ke beban. Beban *static* 270-ELP10-3-1-1 terletak pada bus dengan level tegangan 0,4 kV.

Tipikal 3 : Koordinasi sistem proteksi dari sumber *generator* GGCP menuju *grid* Petrokimia. Kedua sumber ini dihubungkan dengan bus 11A-3-1-1 dengan rating tegangan sebesar 20 kV. Pemilihan pada tipikal ini dilakukan untuk menentukan prioritas antara kedua sumber *grid* Petrokimia dan *generator* GGCP-1 yang akan mati terlebih dahulu ketika terjadi gangguan hubung singkat pada bus 11A-3-1-1.

Dibawah ini ditunjukkan gambar pemilihan masing – masing tipikal pada Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik. Dapat dilihat pada garis berwarna kuning merupakan Tipikal 1, dari generator GGCP-1 menuju beban motor terbesar pada bus 21B-3-1-1 dengan kapasitas 1670 kW. Pada garis berwarna merah merupakan pemilihan Tipikal 2, dari sumber *grid* Petrokimia menuju ke beban terjauh yang berada pada bus 13-1-3-1-1 dengan level tegangan 0,4 kV. Pada tipikal ini beban terjauh adalah beban berjenis *static* dengan rating 15,6 kVA. Selanjutnya yang ditunjukkan pada garis hijau adalah Tipikal 3 yang telah dipilih. Tipikal ini dimulai dari sumber generator GGCP-1 menuju ke *grid* Petrokimia. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, pemilihan tipikal ini dilakukan untuk menentukan prioritas antara kedua sumber yang mana akan mati terlebih dahulu jika terjadi hubung singkat pada bus dibawahnya yaitu bus 11A-3-1-1.



**Gambar 4. 1** Tipikal Koordinasi Proteksi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

## 4.2 Koordinasi Sistem Proteksi Rele *Overcurrent* Gangguan Fasa

Pada suatu industri tentunya tidak terdapat hanya satu rele pengaman sebagai pengaman utamanya, terdapat banyak rele pengaman untuk masing – masing beban agar bila terjadi gangguan tidak sampai merusak beban tersebut. Karena banyaknya rele pengaman tadi, tentunya kerja dari masing – masing rele pengaman perlu dikoordinasikan satu sama lain agar dapat bekerja dengan cepat dan tepat, sehingga bila terjadi gangguan pada suatu titik, tidak akan mematikan seluruh sistem dan bahkan hingga mematikan sistem keseluruhan. Untuk meningkatkan keandalan dari suatu sistem proteksi, rele satu tingkat diatas rele pengaman utama harus mampu menjadi *backup* ketika pada rele utama gagal mengamankan gangguan yang terjadi. Rele *backup* ini bekerja dengan selisih waktu *delay* dengan rele utama, sehingga tidak bekerja bersamaan dengan rele utama jika terjadi gangguan.

Selisih waktu yang dimaksud adalah *delay* antara rele utama dan rele backup saat terjadi gangguan arus lebih dengan besar yang sama. *Grading time* antara rele satu dengan rele yang lainnya menurut standart IEEE 242, adalah  $0,2\text{ s} - 0,4\text{ s}$ .

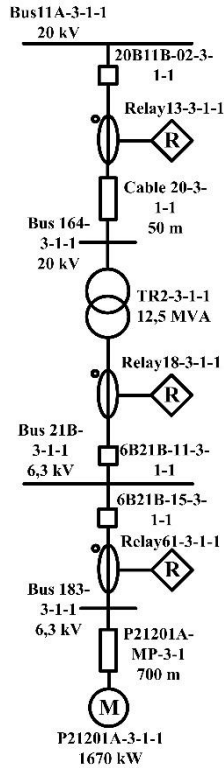
## 4.3 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 1

Pada tipikal 1 koordinasi sistem pengaman dari *generator* GGCP-1 menuju beban motor terbesar P21201A-3-1-1 dengan rating 1670 kW pada bus 21B-3-1-1 bertegangan 6,3 kV. Pemilihan ini dilakukan berdasarkan saluran terpendek dengan beban terbesar pada sistem.

Karena banyak rele yang harus di *setting*, maka pada tipikal 1 ini akan dipecah menjadi tipikal 1A dan tipikal 1B. Hal ini dilakukan agar pembacaan pada TCC (*Time Current Curve*) akan lebih mudah.

### 4.3.1 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 1A

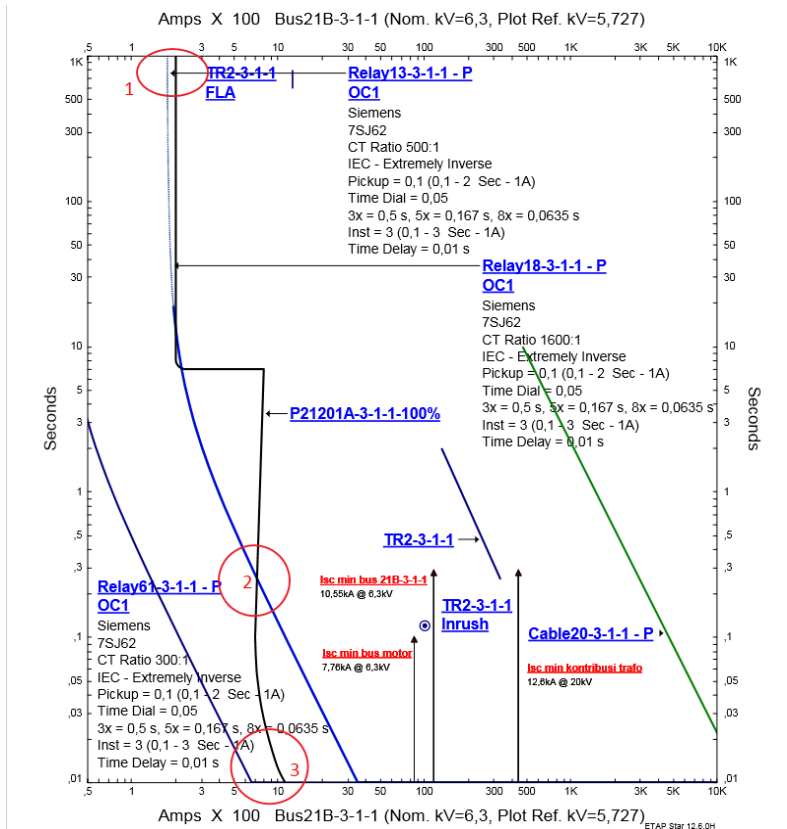
Terdapat 3 buah rele yang harus di *setting*, yaitu rele 61-3-1-1 sebagai pengaman motor P21201A-3-1, rele 18-3-1-1 dan rele 13-3-1-1 sebagai pengaman trafo TR2-3-1-1 yang memiliki rating sebesar 12,5 MVA. *Single line diagram* tipikal 1A dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4. 2** Single Line Diagram Tipikal 1A

Dapat terlihat pada *single line diagram* bahwa tipikal 1A terdiri dari 3 rele yang harus dikoordinasikan. Mulai dari rele pengaman motor P21201A-3-1-1 hingga rele pengaman sisi sekunder dan primer trafo TR2-3-1-1. Pada tipikal ini, diharapkan rele mampu melindungi beban berupa motor dan trafo saat terjadi gangguan hubung singkat. Tetapi tidak bekerja saat motor *starting* dan saat *inrush* trafo terjadi. Hal tersebut sangat dihindari dalam melakukan koordinasi rele pengaman, karena menyebabkan beban – beban tersebut tidak dapat berfungsi saat pertama kali di *energize*.

Diketahui koordinasi rele proteksi pada sistem yang telah ada pada Pabrik Amurea II untuk tipikal 1A ditunjukkan oleh kurva TCC sebagai berikut ini (kondisi *existing*).



**Gambar 4. 3** Kurva TCC Existing Tipikal 1A

Dapat dilihat pada gambar 4.3 bahwa kurva TCC *existing* pada tipikal 1A masih belum terkoordinasi dengan tepat. Ditunjukkan pada Nomor 1 bahwa rele 13-3-1-1 dan rele 18-3-1-1 berhimpit dan *setting pickup* kurva inversnya dibawah dari FLA motor P21201A-3-1. Padahal seharusnya rele tersebut merupakan rele pelindung primer dan sekunder trafo. Pada nomor 2 terlihat bahwa kurva rele 13-3-1-1 dan rele 18-3-1-1 memotong kurva starting motor P21201A-3-1, hal ini harus dihindari karena ketika motor *starting* rele – rele tersebut akan memerintah *CB* untuk *trip*. Pada nomor 3 terlihat bahwa rele pengaman utama motor (rele 61-3-1-1) berada dibelakang kurva starting motor.

Setelah dilakukan analisa terhadap kurva TCC rele proteksi pada tipikal 1A, dapat diketahui bahwa rele – rele proteksi disana perlu dilakukan *setting* ulang agar dapat terkoordinasi dengan baik. Berikut ini adalah perhitungan untuk *setting* rele – rele di tipikal 1A.

**a. Rele 61-3-1-1**

*Manufacture* : Siemens  
*Model* : 7SJ62  
 FLA motor P21201A-3-1 : 200 A  
*CT ratio* : 300 / 1  
*Curve Type* : IEC – *Extremely Inverse*

1. *Time Overcurrent Pickup*

$$1,05 \times \text{FLA P21201A-3-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA P21201A-3-1}$$

$$1,05 \times 200 < \text{Iset} < 1,4 \times 200$$

$$210 < \text{Iset} < 280$$

$$\frac{210}{300/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{280}{300/1} \text{ In}$$

$$0,7 \text{ In} < \text{tap} < 0,93 \text{ In}$$

(range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,8 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,8 \times \frac{300}{1} \\ &= 240 \text{ A} \end{aligned}$$

2. *Time Dial*

Waktu operasi (t) = 0,1 detik

Isc kontribusi max 4cycle bus 183-3-1-1 = 9430 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,1 = \frac{80}{\left(\frac{9430}{2400}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 154,28$$

$$tp = 1,93$$

dipilih *time dial* = 2,5

3. *Instantaneous Pickup*

Isc kontribusi min bus 183-3-3-1-1 = 7760 A

1,6 x FLA mtr P21201A-3-1 < I<sub>>></sub> < 0,8 x Isc min bus 183-3-3-1-1

$$1,6 \times 200 < I_{>>} < 0,8 \times 7760$$

$$320 < I_{>>} < 6208$$

$$\frac{320}{300/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{6208}{300/1} \text{ In}$$

$$1,067 \text{ In} < \text{tap} < 20,69 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 3,5 In

$$\text{Iset} = 3,5 \times \frac{300}{1}$$

$$= 1050 \text{ A}$$

4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

**b. Rele 18-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	: Siemens
<i>Model</i>	: 7SJ62
<i>FLA sekunder Trafo TR2-3-1-1</i>	: 1146 A
<i>CT ratio</i>	: 1600 / 1
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Extremely Inverse</i>

1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1}$$

$$1,05 \times 1146 < \text{Iset} < 1,4 \times 1146$$

$$1203,3 < \text{Iset} < 1604,4$$

$$\frac{1203,3}{1600/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1604,4}{1600/1} \text{ In}$$

$$0,752 \text{ In} < \text{tap} < 1,00 \text{ In}$$

(range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,8 In

$$\text{Iset} = 0,8 \times \frac{1600}{1}$$

$$= 1280 \text{ A}$$

2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,3 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 21B-3-1-1 = 12290 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,3 = \frac{80}{\left(\frac{12290}{1280}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 27,357$$

$$tp = 0,34$$

dipilih *time dial* = 0,5



### 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 21B-3-1-1 = 10550 A

$$1,6 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21B-3-1-1}$$

$$1,6 \times 1146 < I_{>>} < 0,8 \times 10550$$

$$1833,6 < I_{>>} < 8440$$

$$\frac{1833,6}{1600/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{8440}{1600/1} \text{ In}$$

$$1,146 \text{ In} < \text{tap} < 5,275 \text{ In}$$

(range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 2 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 2 \times \frac{1600}{1} \\ &= 3200 \text{ A} \end{aligned}$$

### 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

### c. **Rele 13-3-1-1**

*Manufacture* : Siemens

*Model* : 7SJ62

*FLA primer Trafo TR2-3-1-1* : 360,8 A

*CT ratio* : 500 / 1

*Curve Type* : IEC – *Extremely Inverse*

#### 1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA prim TR2-3-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA prim TR2-3-1-1}$$

$$1,05 \times 360,8 < \text{Iset} < 1,4 \times 360,8$$

$$378,84 < \text{Iset} < 505,12$$

$$\frac{378,84}{500/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{505,12}{500/1} \text{ In}$$

$$0,76 \text{ In} < \text{tap} < 1,01 \text{ In}$$

(range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,8 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,8 \times \frac{500}{1} \\ &= 400 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,3 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 164-3-1-1 = 15210 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,3 = \frac{80}{\left(\frac{15210}{400}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 433,47$$

$$tp = 5,41$$

dipilih *time dial* = 1,5

### 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 164-3-1-1 = 12600 A

$$1,6 \times \text{FLA pmr TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 164-3-1-1}$$

$$1,6 \times 360,8 < I_{>>} < 0,8 \times 12600$$

$$577,28 < I_{>>} < 10080$$

$$\frac{577,28}{500/1} I_n < tap < \frac{10080}{500/1} I_n$$

$$1,154 I_n < tap < 20,16 I_n$$

(range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 3 In

$$\text{Iset} = 3 \times \frac{500}{1}$$

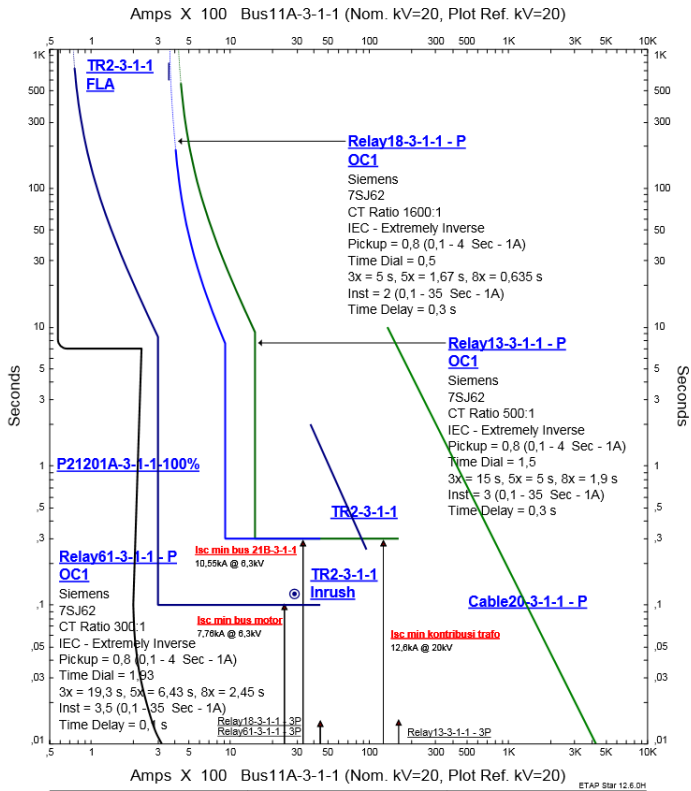
$$= 1500 \text{ A}$$

### 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

Setelah dilakukan perhitungan, kemudian hasil perhitungan diatas dimasukkan pada *setting* rele sesuai dengan perhitungan di atas, kemudian dilakukan *plot* kurva rele – rele tersebut menggunakan *software* ETAP 12.6.0.

Selanjutnya akan dilakukan analisa hasil dari *plot* kurva rele pengaman tersebut, apakah sudah sesuai standar atau belum. Jika sudah sesuai standar yang ada, maka *setting* terhadap rele pengaman pada tipikal 1A sudah dapat dikatakan tepat. Tepat dalam menanggulangi gangguan yang muncul pada sistem kelistrikan dengan tepat dan cepat sesuai waktu yang diinginkan. Untuk *grading time* antar rele pengaman yang dipilih dalam koordinasi tipikal 1A ini adalah 0,2 detik, sesuai dengan standar IEEE 242-2001. Hasil *plot* kurva rele – rele tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4. 4** Time Current Curve Tipikal 1A setelah dilakukan resetting

Dilihat dari hasil *plot* kurva rele – rele pengaman pada tipikal 1A bahwa rele pengaman sudah terkoordinasi dengan tepat. Hal ini dapat diketahui karena saat terjadi hubung singkat minimum pada bus motor (bus 183-3-1-1) akan langsung diamankan oleh rele pengaman utama motor P21201A-3-1-1 (rele 61-3-1-1) dengan mengenai kurva *instant* nya. Dan yang sebagai *backup* adalah rele 18-3-1-1 dengan *grading* 0,2 s. Saat terjadi hubung singkat minimum pada bus 21B-3-1-1, maka rele pengaman sekunder trafo TR2-3-1-1 (rele18-3-1-1) bekerja, diamankan mengenai kurva *instant* nya. Sebagai *backup* nya adalah rele 13-3-1-1, tetapi karena pada rele 13-3-1-1 tidak memenuhi syarat untuk *reset time delay* nya kembali ke 0,1 maka *setting time delay* nya disamakan dengan rele 18-3-1-1. Hal ini dimaksudkan agar *time delay* rele – rele diatasnya

tidak terlalu besar yang mengakibatkan waktu *trip* CB akan semakin lama. Jika terjadi hubung singkat minimum pada bus 164-3-1-1, maka rele yang bekerja sebagai pengaman utama adalah rele 13-3-1-1.

Dibawah ini adalah *sequence viewer* saat terjadi hubung singkat minimum 30 *cycle* pada bus 183-3-1-1. Tabel 4.1

**Tabel 4. 1** Sequence Viewer gangguan pada bus 183-3-1-1

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus183-3-1-1</i>					
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
1.	100	Relay61-3-1-1	7,762	100	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	160	6B21B-15-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay61-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
3.	300	Relay13-3-1-1	2,567	300	<i>Phase-OC1-50</i>
4.	300	Relay18-3-1-1	7,762	300	<i>Phase-OC1-50</i>
5.	370	6B21B-11-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay18-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
6.	370	20B11B-02-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay13-3-1-1 Phase-OC1-50</i>

Dari tabel 4.1 terlihat bahwa urutan *trip* dilihat dari *sequence viewer* ETAP telah sesuai dengan yang tergambar pada kurva TCC. Saat terjadi hubung singkat minimum (*line to line 30 cycle*), rele yang pertama kali bekerja adalah rele 61-3-1-1. Selanjutnya sebagai *backup* adalah rele 18-3-1-1. Pada Tabel 4.1 terlihat rele 13-3-1-1 dan 18-3-1-1 bekerja bersamaan. Ini dikarenakan kedua rele tersebut memiliki *setting time delay* yang sama. Untuk urutan *trip* pada *sequence viewer* terlihat rele 13-3-1-1 *trip* terlebih dahulu, padahal sebenarnya *trip* bersamaan . Ini dikarenakan rele 13-3-1-1 memiliki ID dengan alfabet lebih awal dibanding rele 18-3-1-1.

Selanjutnya adalah tabel *sequence viewer* asaat terjadi gangguan hubung singkat minimum (*line to line 30 cycle*). Dapat dilihat pada tabel 4.2

**Tabel 4. 2** Sequence Viewer gangguan pada bus 21B-3-1-1

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus21B-3-1-1</i>					
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
1.	300	Relay13-3-1-1	3,489	300	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	300	Relay18-3-1-1	10,552	300	<i>Phase-OC1-50</i>

**Tabel 4.2** *Sequence Viewer* gangguan pada bus 21B-3-1-1 (lanjutan)

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus21B-3-1-1</i>					
No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
3.	360	6B21B-11-3-1-1		60,0	Tripped by Relay18-3-1-1 Phase-OC1-50
4.	360	20B11B-02-3-1-1		60,0	Tripped by Relay13-3-1-1 Phase-OC1-50

Dari Tabel 4.2, terlihat bahwa apabila terjadi gangguan pada bus 21B-3-1-1 urutan *trip* nya sudah sesuai dengan yang tergambar pada kurva TCC. Rele 18-3-1-1 akan bekerja pertama kali dengan waktu 300 ms, selanjutnya yang sebagai *backup* adalah rele 13-3-1-1. Untuk rele 18-3-1-1 dan rele 13-3-1-1 sebagai pelindung trafo, pemilihan *time delay* disamakan 0,3 s. Hal ini dikarenakan mempertimbangkan besar  $I_{sc}$  maksimum kontribusi simetri 3 fasa 4 *cycle* pada bus di bawah trafo TR-2-3-1-1 (bus 21B-3-1-1) setelah dikonversi ke tegangan primer trafo (20 kV) sebesar 3,87 lebih besar daripada hubung singkat minimum *line to line* 30 *cycle* bus diatas trafo (11A-3-1-1 ; 20 kV) yang sebesar 2,45 Ka Sehingga tidak memenuhi syarat untuk *reset time dial* kembali ke 0,1 detik. Jika rele 13-3-1-1 dipaksa untuk *reset* 0,1 s, akan membuat kurva TCC nya saling bertabrakan. Hal ini membuat rele – rele pengaman tidak terkoordinasi dengan baik.

Berikut ini adalah *sequence viewer* apabila terjadi gangguan hubung singkat minimum 30 *cycle line to line* pada bus 164-3-1-1, dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini :

**Tabel 4. 3** *Sequence Viewer* gangguan pada bus 164-3-1-1

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus164-3-1-1</i>					
No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
1.	300	Relay13-3-1-1	12,599	300	Phase-OC1-50
2.	360	20B11B-02-3-1-1		60,0	Tripped by Relay13-3-1-1 Phase-OC1-50
3.	700	Relay5-2-2-1	5.205	700	Phase-OC1-50
4.	700	Relay5-3-3-1	2.436	700	Phase-OC1-50
5.	700	Relay8-1-1-1	2.436	700	Phase-OC1-50
6.	700	Relay11-3-1-1	2.436	700	Phase-OC1-50

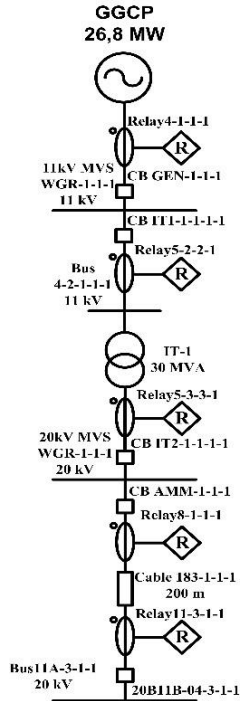
**Tabel 4.3** *Sequence Viewer* gangguan pada bus 164-3-1-1 (lanjutan)

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus164-3-1-1</i>					
No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
7.	760	20B11B-04-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay11-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
8.	760	CB AMM-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay8-1-1-1 Phase-OC1-50</i>
9.	760	CB IT1-1-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay5-2-2-1 Phase-OC1-50</i>
10.	760	CB IT2-1-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay5-3-3-1 Phase-OC1-50</i>
11.	900	Relay4-1-1-1	5,205	900	<i>Phase-OC1-50</i>
12.	960	CB GEN-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay4-1-1-1 Phase-OC1-50</i>

Pada Tabel 4.3 terlihat jika terjadi gangguan pada bus 164-3-1-1, rele13-3-1-1 akan bekerja pertama kali sebagai pengaman utama dengan waktu 300 ms. Kemudian rele 11-3-1-1 bertindak sebagai rele *backup*. Untuk *setting* dari rele 11-3-1-1 sebagai *backup* akan dijelaskan pada saat *setting* tipikal 1B

#### **4.3.2 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 1B**

Untuk tipikal 1B ini terdapat 5 rele yang harus dikoordinasikan. *Setting* rele 11-3-1-1 dan rele 8-1-1-1 akan dibuat sama karena hanya melindungi kabel 183-3-1-1, maka memiliki *rating* FLA yang sama. Rele 5-3-3-1 dan rele 5-2-2-1 digunakan sebagai rele yang melindungi sisi sekunder dan primer trafo IT-1-1-1 yang mempunyai rating 30 MVA. Selanjutnya adalah rele 4-1-1-1 yang merupakan rele utama untuk melindungi *generator* GGCP dengan rating pembangkitan 26,8 MW. Semua rele tersebut harus dikoordinasikan waktu kerjanya sehingga jika terjadi gangguan, rele yang terdekat dengan titik gangguan tersebut yang akan bekerja, sehingga tidak memperluas area yang terkena dampak dari gangguan tersebut. Dan juga kontinuitas aliran daya dari sumber menuju beban dapat tetap terjaga sehingga tidak sampai mengganggu proses produksi keseluruhan. Dibawah ini adalah *single line diagram* tipikal 1B ditunjukkan pada Gambar 4.4:



**Gambar 4. 5** Single Line Diagram Tipikal 1B

Pada tipikal 1B kali ini, terdapat 5 rele yang harus dikoordinasikan waktu kerjanya. Mulai dari rele pengamanan kabel 11-3-1-1 dan 8-3-1-1 hingga ke rele pengamanan arus lebih utama pada generator GGCP. Untuk *setting* dari rele 11-3-1-1, 8-3-1-1 dan rele 5-3-1-1 akan disamakan karena memang besar arus maksimum yang mengalir pada ketiga rele tersebut adalah sama, berdasarkan dari sisi sekunder trafo IT-1, sehingga *setting* disamakan. Untuk waktu kerja dari ketiga rele tersebut akan disamakan pula, karena apabila dilakukan *grading time* pada ketiga rele tersebut maka akan membuat waktu kerja pada rele paling atas (rele 4-1-1-1) akan semakin lama hingga melebihi 1 detik. Ini tentunya akan membuat gangguan tidak cepat teratasi.

**Amps X 100 20kV MVSWGR-1-1-1 (Nom. kV=20, Plot Ref. kV=20)**

**Relay 5-3-3-1 - P OC1**  
 Siemens  
 7SJ62  
 CT Ratio 1800:1  
 IEC - Extremely Inverse  
 Pickup = 0,797 (0,1 - 4 Sec - 1A)  
 Time Dial = 0,89  
 3x = 8,9 s, 5x = 2,97 s, 8x = 1,13 s  
 Inst = 16 (0,1 - 35 Sec - 1A)  
 Time Delay = 0,1 s

**Relay 11-3-1-1 - P OC1**  
 Siemens  
 7SJ62  
 CT Ratio 1000:1  
 IEC - Extremely Inverse  
 Pickup = 0,1 (0,1 - 2 Sec - 1A)  
 Time Dial = 0,05  
 3x = 0,5 s, 5x = 0,167 s, 8x = 0,0635 s  
 Inst = 3 (0,1 - 3 Sec - 1A)  
 Time Delay = 0,01 s

**Relay 8-1-1-1 - P OC1**  
 Schneider Electric  
 Sepam Series 10  
 CT Ratio 1000:1  
 IEC Extremely Inverse Time EIT/C  
 Pickup = 0,45 (0,1 - 2,4 xCT Sec)  
 Time Dial = 0,25  
 3x = 2,5 s, 5x = 0,833 s, 8x = 0,317 s  
 Inst = 12 (0,1 - 24 xCT Sec)  
 Time Delay = 0,3 s

**IT-1-1-1**  
 Inrush

**Cable 183-1-1 - P**

**Isc.min bus 20kV MVSWGR**  
 2.49kA @ 20kV

**Isc.min bus 20kV 1-1-1**  
 2.49kA @ 20kV

**Isc.min bus 20kV 2-2-1-1**  
 7.05kA @ 11kV

**Relay 5-3-3-1-1-3P**  
**Relay 11-3-1-1-3P**  
**Relay 8-1-1-1-3P**

**Seconds**

**1K 500 300 100 50 30 10 5 3 1 0,5 0,3 0,1**

**5 1 3 5 10 30 50 100 300 500 1K 3K 5K 10K**

**Amps X 100 20kV MVSWGR-1-1-1 (Nom. kV=20, Plot Ref. kV=20)**

**1 2 3**

Dilihat dari TCC koordinasi rele pengaman tipikal 1B masih terdapat beberapa pengaturan yang kurang tepat. Yang ditunjukkan pada nomor 1 terlihat bahwa rele pengaman generator (rele 4-1-1-1) menyinggung rele pengaman sekunder trafo (rele 5-3-1-1). Pada nomor 2 terlihat 3 kurva rele pengaman saling bersinggungan. Ini tentu sangat dihindari karena akan menyebabkan terjadinya kesalahan *trip* saat terjadi gangguan. Pada nomor 3 *setting* rele 11-3-1-1 memiliki *time delay* sebesar



0,01 detik. Ini seharusnya dihindari saat melakukan koordinasi rele proteksi, karena menyebabkan rele menjadi sangat sensitif dan saat terjadi hubung singkat di bus atas rele 11-3-1-1, maka rele 11-3-1-1 tetap akan mendeteksi gangguan terlebih dahulu.

Setelah dilakukan analisa terhadap kurva TCC rele proteksi pada tipikal 1B, dapat diketahui bahwa rele – rele proteksi disana perlu dilakukan *setting* ulang agar dapat terkoordinasi dengan baik. Berikut ini adalah perhitungan untuk *setting* rele – rele di tipikal 1B.

**a. Rele 11-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	: Siemens
Model	: 7SJ62
FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1	: 866 A
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Extremely Inverse</i>
CT ratio	: 1000 / 1

1. *Time Overcurrent Pickup*

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} \\
 1,05 \times 866 &< \text{Iset} < 1,4 \times 866 \\
 909,3 &< \text{Iset} < 1212,4 \\
 \frac{909,3}{\frac{1000}{1}} \text{In} &< \text{tap} < \frac{1212,4}{\frac{1000}{1}} \text{In} \\
 0,9093 \text{ In} &< \text{tap} < 1,2124 \text{ In} \\
 (\text{range } 0,1\text{In} - 4\text{In} \text{ sekunder CT} - 1\text{A; step } 0,01\text{In}) \\
 \text{Dipilih tap} &= 0,95 \text{ In} \\
 \text{Iset} &= 0,95 \times \frac{1000}{1} \\
 &= 950 \text{ A}
 \end{aligned}$$

2. *Time Dial*

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu operasi (t)} &= 0,7 \text{ detik} \\
 \text{Isc max kontribusi 4cycle bus 11A-3-1-1} &= 3160 \text{ A} \\
 t &= \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp \\
 0,7 &= \frac{80}{\left(\frac{3160}{950}\right)^2 - 1} \times tp \\
 80tp &= 7,045 \\
 tp &= 0,088 \\
 \text{dipilih time dial} &= 1,5
 \end{aligned}$$

3. *Instantaneous Pickup*

Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1 = 2450 A

$$1,6 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21B-3-1-1}$$

$$1,6 \times 866 < I_{>>} < 0,8 \times 2450$$

$$1385,6 < I_{>>} < 1960$$

$$\frac{1385,6}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1960}{1000/1} \text{ In}$$

$$1,3856 \text{ In} < \text{tap} < 1,96 \text{ In}$$

(range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,8 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 1,8 \times \frac{1000}{1} \\ &= 1800 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4. Time Delay

$$\text{Dipilih time delay} = 0,7 \text{ s}$$

### b. Rele 8-3-1-1

*Manufacture* : Schneider Electric

*Model* : Sepam Series 10

*FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1* : 866 A

*Curve Type* : IEC *Extremely Inverse Time*

*CT ratio* : 1000 / 1

#### 1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1}$$

$$1,05 \times 866 < \text{Iset} < 1,4 \times 866$$

$$909,3 < \text{Iset} < 1212,4$$

$$\frac{909,3}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1212,4}{1000/1} \text{ In}$$

$$0,9093 \text{ In} < \text{tap} < 1,2124 \text{ In}$$

(range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,95 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,95 \times \frac{1000}{1} \\ &= 950 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 2. Time Dial

$$\text{Waktu operasi (t)} = 0,7 \text{ detik}$$

$$\text{Isc max 4cycle bus 11A-3-1-1} = 3160 \text{ A}$$

$$t = \frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p - 1} \times TMS$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{3160}{950}\right)^2 - 1} \times TMS$$

$80TMS = 7,045$   
 $TMS = 0,088$   
 dipilih *time dial* = 1,5

3. Instantaneous Pickup

$I_{sc}$  kontribusi min bus 11A-3-1-1 = 2450 A  
 $1,6 \times FLA \text{ sek TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min bus 21B-3-1-1}$   
 $1,6 \times 866 < I_{>>} < 0,8 \times 2450$   
 $1385,6 < I_{>>} < 1960$   
 $\frac{1385,6}{1000/1} In < tap < \frac{1960}{1000/1} In$   
 $1,3856 In < tap < 1,96 In$   
 (range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)  
 Dipilih tap = 1,8 In  
 $I_{set} = 1,8 \times \frac{1000}{1}$   
 $= 1800 \text{ A}$

4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,7 s

c. **Rele 5-3-3-1**

*Manufacture* : Siemens  
*Model* : 7SJ62  
*FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1* : 866 A  
*CT ratio* : 1000 / 1  
*Curve Type* : IEC – *Extremely Inverse*

1. Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times FLA \text{ sek IT-1-1-1-1} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ sek IT-1-1-1-1}$   
 $1,05 \times 866 < I_{set} < 1,4 \times 866$   
 $909,3 < I_{set} < 1212,4$   
 $\frac{909,3}{1000/1} In < tap < \frac{1212,4}{1000/1} In$   
 $0,9093 In < tap < 1,2124 In$   
 (range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)  
 Dipilih tap = 0,95 In  
 $I_{set} = 0,95 \times \frac{1000}{1}$   
 $= 950 \text{ A}$

2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,7 detik  
 $I_{sc} \text{ max kontribusi } 4\text{cycle bus 20kV MVSWGR-1-1-1} = 3160 \text{ A}$

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{3160}{950}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 7,094$$

$$tp = 0,088$$

dipilih *time dial* = 1,5

### 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1 = 2450 A

$1,6 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min 20kV MVSWGR-1-1-1}$

$1,6 \times 866 < I_{>>} < 0,8 \times 2450$

$1385,6 < I_{>>} < 1960$

$\frac{1385,6}{1000/1} I_n < \text{tap} < \frac{1960}{1000/1} I_n$

$1,3856 I_n < \text{tap} < 1,96 I_n$

(range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,8 In

Iset =  $1,8 \times \frac{1000}{1}$   
= 1800 A

### 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,7 s

## d. **Rele 5-2-2-1**

*Manufacture* : Siemens

*Model* : 7SJ62

*FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1* : 1575 A

*CT ratio* : 1800 / 1

*Curve Type* : IEC – *Extremely Inverse*

### 1. Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA pmr IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA pmr IT-1-1-1-1}$

$1,05 \times 1575 < \text{Iset} < 1,4 \times 1575$

$1653,75 < \text{Iset} < 2205$

$\frac{1653,75}{1800/1} I_n < \text{tap} < \frac{2205}{1800/1} I_n$

$0,92 I_n < \text{tap} < 1,225 I_n$

(range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,1 In

Iset =  $1,1 \times \frac{1800}{1}$

$$= 1980 \text{ A}$$

## 2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,7 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 4-2-1-1-1 = 10360 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{10360}{1980}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 18,464$$

$$tp = 0,23$$

dipilih *time dial* = 3

## 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 4-2-1-1-1 = 7450 A

$$1,6 \times \text{FLA pmr TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 4-2-1-1-1}$$

$$1,6 \times 1575 < I_{>>} < 0,8 \times 7450$$

$$2520 < I_{>>} < 5960$$

$$\frac{2520}{1800/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{5960}{1800/1} \text{ In}$$

$$1,4 \text{ In} < \text{tap} < 3,31 \text{ In}$$

(range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 2,75 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 2,75 \times \frac{1800}{1} \\ &= 4950 \text{ A} \end{aligned}$$

## 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,7 s

## e. **Rele 4-1-1-1**

*Manufacture* : GE Multilin

*Model* : 489

*FLA generator GGCP* : 1758 A

*CT ratio* : 1800 / 1

*Curve Type* : IEC – C

## 1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA generator GGCP} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA generator GGCP}$$

$$1,05 \times 1758 < \text{Iset} < 1,4 \times 1758$$

$$\begin{aligned}
 1845,9 &< I_{set} < 2461,2 \\
 \frac{1845,9}{1800/1} I_n &< \text{tap} < \frac{2461,2}{1800/1} I_n \\
 1,0255 I_n &< \text{tap} < 1,3673 I_n \\
 (\text{range } 0,15 - 20 \times \text{CT sekunder; step } 0,01 I_n) \\
 \text{Dipilih tap} &= 1,2 I_n \\
 I_{set} &= 1,2 \times \frac{1800}{1} \\
 &= 2160 \text{ A}
 \end{aligned}$$

## 2. Time Dial

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu operasi (T)} &= 0,9 \text{ detik} \\
 I_{sc} \text{ max kontribusi } 4\text{cycle bus } 11\text{kV MVSWGR } 1-1-1 &= 10160 \text{ A} \\
 T &= M \times \frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^{E-1}} \\
 0,9 &= M \times \frac{80}{\left(\frac{10160}{2160}\right)^2-1} \\
 80M &= 20,41 \\
 M &= 0,255 \\
 \text{dipilih } time \text{ dial} &= 5,58
 \end{aligned}$$

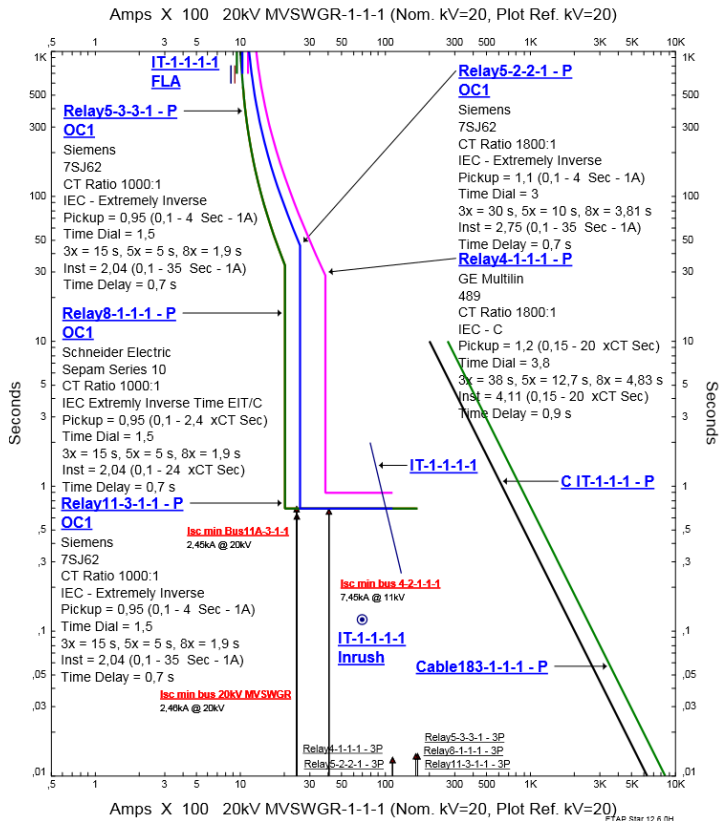
## 3. Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 I_{sc} \text{ kontribusi min bus } 11\text{kV MVSWGR } 1-1-1 &= 7450 \text{ A} \\
 1,6 \times \text{FLA generator} < I_{sc} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 11\text{kV MVSWGR } 1-1-1 \\
 1,6 \times 1655 < I_{sc} < 0,8 \times 7450 \\
 2648 < I_{sc} < 5960 \\
 \frac{2648}{1800/1} I_n &< \text{tap} < \frac{5960}{1800/1} I_n \\
 1,47 I_n &< \text{tap} < 3,31 I_n \\
 (\text{range } 0,15 - 20 \times \text{CT sekunder; step } 0,01 I_n) \\
 \text{Dipilih tap} &= 2,4 I_n \\
 I_{set} &= 2,4 \times \frac{1800}{1} \\
 &= 4320 \text{ A}
 \end{aligned}$$

## 4. Time Delay

$$\text{Dipilih } time \text{ delay} = 0,9 \text{ s}$$

Kemudian setelah nilai *setting* dari masing – masing rele telah diketahui, dilakukan plot kurva masing – masing rele pengaman. Pada TCC akan terlihat apakah rele sudah terkoordinasi dengan baik. Kurva *time current curve* (TCC) dapat dilihat pada Gambar 4.6 di bawah ini :



**Gambar 4. 7** Time Current Curve Tipikal 1B setelah dilakukan resetting

Dapat dilihat dari TCC yang dibentuk oleh rele – rele proteksi pada tipikal 1B bahwa *setting* yang dilakukan sudah tepat. Hal tersebut dapat dilihat bahwa saat pada bus 11A-3-1-1 mengalami gangguan hubung singkat minimum 30 *cycle line to line*, rele yang akan bekerja pertama kali adalah rele 11-3-1-1, dimana rele tersebut adalah pengaman utama bus 11A-3-1-1. Diatas rele 11-3-1-1 terdapat rele 8-3-1-1 dan rele 5-3-1-1 yang memiliki *setting* yang sama, sehingga saat terjadi gangguan hubung singkat ketiga rele tersebut akan bekerja secara bersamaan. Hal ini dilakukan karena ketiga rele tersebut berada pada level tegangan yang sama, dan besarnya arus maksimal (FLA) yang mengalir pada ketiga rele tersebut sama, sehingga *setting* ketiga rele tersebut disamakan.

Jika terjadi gangguan hubung singkat minimum pada bus 20kV MVSWGR-1-1-1, rele 5-3-3-1 yang merupakan pengaman utamanya akan bekerja terlebih dahulu. *Grading time* yang dipilih untuk koordinasi rele pengaman tipikal 1 B sudah memenuhi standar IEEE-242 yaitu 0,2 s.

Pada tipikal 1B ini, terdapat penyesuaian yang dilakukan. Pada rele 5-2-2-1 yang merupakan pelindung utama primer trafo IT-1-1-1-1 seharusnya memenuhi syarat untuk *reset time delay* menjadi 0,1, tetapi karena pada sistem kapasitas trafo yang lebih besar (30 MVA) dibanding kapasitas generator (26,8 MW), maka selisih antara arus hubung singkat maksimum 4 *cycle* 3 fasa pada bus dibawah trafo (bus 20kV MVSWGR-1-1-1) 5,76 kA dengan arus hubung singkat minimum 30 *cycle line to line* bus di atas trafo (bus 4-2-1-1-1) 5,96 kA terlalu kecil, sehingga rele tersebut tidak dibuat *reset* ke 0,1 s.

Dibawah ini adalah *sequence viewer* saat terjadi hubung singkat minimum 30 *cycle* pada bus 11A-3-1-1. Tabel 4.4

**Tabel 4. 4** Sequence Viewer gangguan pada bus 11A-3-1-1 (Tipikal 1)

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus11A-3-1-1</i>					
No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
1.	500	Relay 12-3-1-1	10,421	500	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	560	20B11A-01-3-1-1		60	<i>Tripped by Relay12-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
3.	560	GI-15-1-1-1		60	<i>Tripped by Relay12-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
4.	700	Relay5-2-2-1	5,232	700	<i>Phase-OC1-50</i>
5.	700	Relay5-3-3-1	2,448	700	<i>Phase-OC1-50</i>
6.	700	Relay8-1-1-1	2,448	700	<i>Phase-OC1-50</i>
7.	700	Relay11-3-1-1	2,448	700	<i>Phase-OC1-50</i>
8.	760	20B11B-04-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay11-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
9.	760	CB AMM-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay8-1-1-1 Phase-OC1-50</i>
10.	760	CB IT1-1-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay5-2-2-1 Phase-OC1-50</i>
11.	760	CB IT2-1-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay5-3-3-1 Phase-OC1-50</i>
12.	900	Relay4-1-1-1	5,233	900	<i>Phase-OC1-50</i>
13.	960	CB GEN-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay4-1-1-1 Phase-OC1-50</i>



Dapat dilihat pada Tabel 4.4 jika terjadi gangguan pada bus 11A-3-1-1, maka rele yang akan bekerja adalah rele 12-3-1-1 dengan waktu 500 ms. Hal ini dilakukan karena prioritas sumber yang harus mati terlebih dahulu saat terjadi gangguan adalah sumber dari *grid* Petrokimia, karena *grid* ini terhubung dengan pabrik lain pada PT. Petrokimia Gresik. Untuk lebih jelasnya akan dijelaskan pada koordinasi tipikal 3. Selanjutnya rele yang bekerja adalah rele 5-2-2-1, rele 5-3-3-1, rele 8-1-1-1 dan rele 11-3-1-1. Ini dikarenakan keempat rele tersebut memiliki *setting time delay* yang sama yaitu 0,7 s. Hanya pada *sequence viewer* terlihat urutan bekerja adalah rele 5-2-2-1 ini disebabkan urutan penamaan saja dari terkecil lebih dahulu.

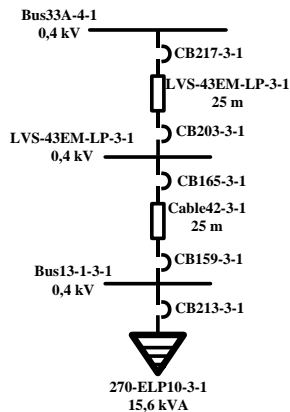
#### 4.4 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 2

Koordinasi sistem proteksi dari *grid* Petrokimia menuju ke beban terjauh, yaitu beban *static* 270-ELP10-3-1-1 dengan rating 15,6 kVA. Pemilihan ini dilakukan berdasarkan saluran terpanjang dari suber *grid* Petrokimia menuju ke beban. Beban *static* 270-ELP10-3-1-1 terletak pada bus dengan level tegangan 0,4 kV.

Terdapat 5 MCCB, 1 ACB dan 4 Rele yang akan dikoordinasikan. Karena saluran yang cukup panjang, maka tipikal 2 ini akan dipecah menjadi tipikal 1A dan tipikal 2B untuk memudahkan pengamatan terhadap TCC.

##### 4.4.1 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 2A

Berikut adalah *single line diagram* dari tipikal 2A.



**Gambar 4. 8** Single Line Diagram Tipikal 2A

Berikut ini adalah parameter pada *setting* pada MCCB tipikal 2A :

**a. CB213-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: C60L - C Curve IEC
<i>Size</i>	: 25
<i>Rated Amps</i>	: 25
<i>Making</i>	: 40
<i>Ultimated Breaking</i>	: 25
<i>Service Breaking</i>	: 12,5
<i>Min Delay</i>	: 0,1

**b. CB159-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: C120L - C Curve IEC
<i>Size</i>	: 80
<i>Rated Amps</i>	: 80
<i>Making</i>	: 80
<i>Ultimated Breaking</i>	: 70
<i>Service Breaking</i>	: 35
<i>Min Delay</i>	: 0,1

**c. CB165-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: C120L - C Curve IEC
<i>Size</i>	: 80
<i>Rated Amps</i>	: 80
<i>Making</i>	: 80
<i>Ultimated Breaking</i>	: 70
<i>Service Breaking</i>	: 35
<i>Min Delay</i>	: 0,1

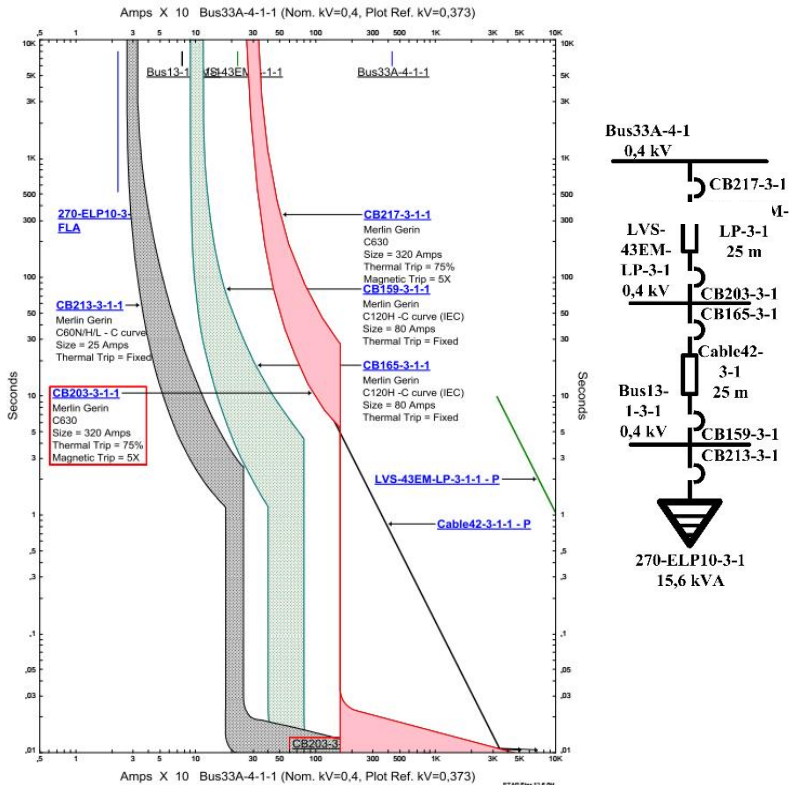
**d. CB203-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: C630L
<i>Size</i>	: 320
<i>Rated Amps</i>	: 320
<i>Thermal</i>	: Trip 75% (240 Ampere)
<i>Magnetic</i>	: 5 (Trip 1600 A)
<i>Service Breaking</i>	: 32,5
<i>Min Delay</i>	: 0,1

**e. CB217-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: C630L
<i>Size</i>	: 320
<i>Rated Amps</i>	: 320
<i>Thermal</i>	: Trip 75% (240 Ampere)
<i>Magnetic</i>	: 5 (Trip 1600 A)
<i>Service Breaking</i>	: 32,5
<i>Min Delay</i>	: 0,1

Selanjutnya dilakukan *plot* kurva dari MCCB yang telah *disetting*.

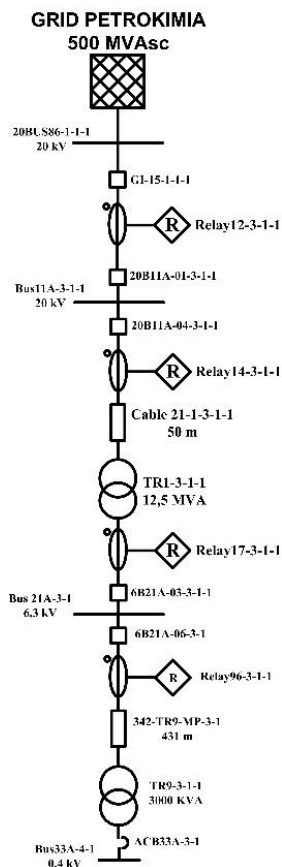


**Gambar 4. 9** Time Current Curve Tipikal 2A

Dapat dilihat dari hasil *plot time current curve* bahwa pemilihan *setting* MCCB untuk tipikal 2A sudah tepat..

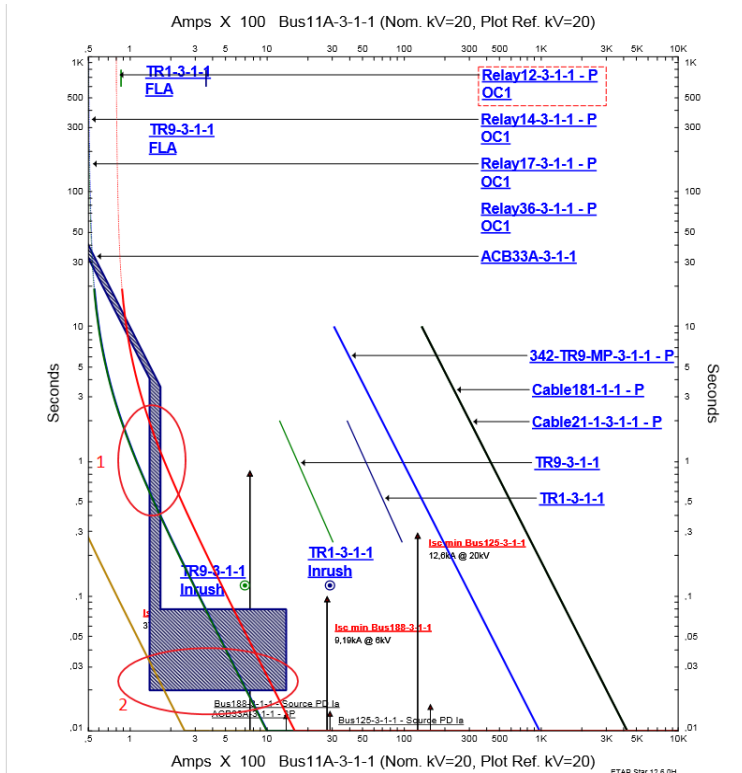
#### 4.4.2 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 2B

Untuk tipikal 2B, koordinasi dilakukan mulai dari ACB33A-3-1-1 hingga menuju rele pengaman *grid* Petrokimia, yaitu rele 12-3-1-1. Total peralatan pengaman yang harus dikoordinasi pada tipikal 2B ini adalah 1 ACB dan 4 rele. *Single line diagram* tipikal 2B dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini :



**Gambar 4. 10** Single Line Diagram Tipikal 2B

Dibawah ini akan ditampilkan TCC kondisi eksisting yang berada pada Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik untuk koordinasi tipikal 2B.



**Gambar 4. 11** Kurva TCC Existing Tipikal 2B

Dari TCC yang terlihat diatas, untuk *setting* koordinasi proteksi pada kondisi *existing* masih kurang tepat. Hal ini terlihat dari masih banyaknya kurva rele yang saling bertabrakan, dan akan membuat terjadi kesalahan *trip* saat terjadi gangguan. Terlihat pada lingkaran nomor 1 bahwa kurva ACB dan rele17-3-1-1 dan 14-3-1-1 saling bertabrakan. Pada lingkaran nomor 2 terlihat juga bahwa terdapat 4 rele yang saling bertabrakan. Karena hal – hal tersebut maka diperlukan perhitungan nilai yang tepat untuk koordinasi *setting* peralatan pengaman pada tipikal 1B.

Selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk nilai *setting* dari masing – masing rele pengaman dan ACB33A-3-1-1.

**a. ACB33A-3-1-1**

*Manufacture* : Siemens  
*Model* : 3WL13H 50  
*Trip Device* : Siemens ETU76B (I<sup>2</sup>t)  
FLA sek trafo TR9-3-1-1 : 4330 A  
*Rating plug* : 5000

1. Long Time Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA sek TR9-3-1-1} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek TR9-3-1-1} \\1,05 \times 4330 &< \text{Iset} < 1,4 \times 4330 \\4546,5 &< \text{Iset} < 6062 \\ \frac{4546,5}{5000} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{6062}{5000} \text{ In} \\0,9093 \text{ In} &< \text{tap} < 1,2124 \text{ In} \\(\text{LT pickup range } 0,4\text{In}; 0,45\text{In}; 0,5\text{In}; 0,55\text{In}; 0,6\text{In}; 0,65\text{In}; 0,7\text{In}; \\0,8\text{In}; 0,9\text{In}; 1\text{In}) \\ \text{Dipilih range} &= 0,9\text{In} \\ \text{LT pickup} &= 0,9 \times 5000 \\ &= 4500 \text{ A}\end{aligned}$$

2. LT band

$$\begin{aligned}\text{Range} &= (2-30) \text{ Maximum} \\ &\text{@ 6 Multiples} \\ \text{Step} &: 1 \\ \text{Dipilih LT band} &= 2\end{aligned}$$

3. Short Time Pickup

$$\begin{aligned}\text{Isc kontribusi min bus 33A-4-1-1} &= 38760 \text{ A} \\1,6 \times \text{FLA sek TR9-3-1-1} &< \text{I}_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min bus 33A-4-1-1} \\1,6 \times 4330 &< \text{I}_{\text{set}} < 0,8 \times 38760 \\6928 &< \text{I}_{\text{set}} < 31008 \\ \frac{6928}{5000} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{31008}{5000} \text{ In} \\1,3856 \text{ In} &< \text{tap} < 6,2 \text{ In} \\ \text{Dipilih tap} &= 1,4 \text{ In} \\ \text{ST pickup} &= 1,4 \times 5000 \\ &= 7000 \text{ A}\end{aligned}$$

4. ST Band

$$\begin{aligned}\text{Range } (0,02; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,5; 2; 2,5; \\3; 3,5; 4) \\ \text{Dipilih ST Band} &= 0,4\end{aligned}$$

## b. Rel36-3-1-1

Manufacture	: Siemens
Model	: 7SJ62
FLA primer trafo TR9-3-1-1	: 274,9 A
CT ratio	: 400 / 1
Curve Type	: IEC – <i>Extremely Inverse</i>

### 1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA pmr TR9-3-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA pmr TR9-3-1-1}$$

$$1,05 \times 274,9 < \text{Iset} < 1,4 \times 274,9$$

$$288,645 < \text{Iset} < 384,86$$

$$\frac{288,645}{400/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{384,86}{400/1} \text{ In}$$

$$0,722 \text{ In} < \text{tap} < 0,96 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,95 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,95 \times \frac{400}{1} \\ &= 380 \text{ A} \end{aligned}$$

### 2. Time Dial

$$\text{Waktu operasi (t)} = 0,1 \text{ detik}$$

$$\text{Isc kontribusi max 4cycle bus 21A-3-1-1} = 12290 \text{ A}$$

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,1 = \frac{80}{\left(\frac{12290}{380}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 104,5$$

$$tp = 1,306$$

dipilih time dial = 0,5

### 3. Instantaneous Pickup

$$\text{Isc kontribusi max bus 33A-4-1-1} = 45760 \text{ A}$$

$$\text{Isc kontribusi min bus 21A-3-1-1} = 10550 \text{ A}$$

$$\text{Isc max bus 33A-4-1-1} \times \left(\frac{kV_{sek}}{kV_{prm}}\right) < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21A-3-1-1}$$

$$45760 \left(\frac{0,4}{6,3}\right) < I_{>>} < 0,8 \times 10550$$

$$2905,4 < I_{>>} < 8440$$

$$\frac{2905,4}{400/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{8440}{400/1} \text{ In}$$

$$7,26 \text{ In} < \text{tap} < 21,08 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 8,8 In

$$\begin{aligned} I_{set} &= 8,8 \times \frac{400}{1} \\ &= 3520 \text{ A} \end{aligned}$$

4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

c. **Rele 17-3-1-1**

*Manufacture* : Siemens  
*Model* : 7SJ62  
 FLA sekunder Trafo TR1-3-1-1 : 1146 A  
*CT ratio* : 1600 / 1  
*Curve Type* : IEC – *Extremely Inverse*

1. Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA sek TR1-3-1-1} &< I_{set} < 1,4 \times \text{FLA sek TR1-3-1-1} \\ 1,05 \times 1146 &< I_{set} < 1,4 \times 1146 \\ 1203,3 &< I_{set} < 1604,4 \\ \frac{1203,3}{1600/1} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{1604,4}{1600/1} \text{ In} \\ 0,752 \text{ In} &< \text{tap} < 1,00 \text{ In} \\ (\text{pickup range } 0,1\text{In} - 4\text{In sekunder CT} - 1\text{A; step } 0,01\text{In}) \\ \text{Dipilih tap} &= 0,8 \text{ In} \\ I_{set} &= 0,8 \times \frac{1600}{1} \\ &= 1280 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Time Dial

$$\begin{aligned} \text{Waktu operasi (t)} &= 0,3 \text{ detik} \\ \text{Isc kontribusi max } 4\text{cycle bus 21A-3-1-1} &= 12290 \text{ A} \\ t &= \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp \\ 0,3 &= \frac{80}{\left(\frac{12290}{1280}\right)^2 - 1} \times tp \\ 80tp &= 27,357 \\ tp &= 0,34 \\ \text{dipilih } time \text{ dial} &= 1 \end{aligned}$$

3. Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} \text{Isc kontribusi min bus 21A-3-1-1} &= 10550 \text{ A} \\ 1,6 \times \text{FLA sek TR1-3-1-1} &< I_{set} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21A-3-1-1} \\ 1,6 \times 1146 &< I_{set} < 0,8 \times 10550 \end{aligned}$$



$$1833,6 < I_{>>} < 8440$$

$$\frac{1833,6}{1600/1} I_n < \text{tap} < \frac{8440}{1600/1} I_n$$

$$1,146 I_n < \text{tap} < 5,275 I_n$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 2,5 In

$$I_{\text{set}} = 2,5 \times \frac{1600}{1}$$

$$= 4000 \text{ A}$$

#### 4. Time Delay

Dipilih time delay = 0,3 s

#### d. Rele 14-3-1-1

Manufacture	: Siemens
Model	: 7SJ62
FLA primer Trafo TR1-3-1-1	: 360,8 A
CT ratio	: 500 / 1
Curve Type	: IEC – Extremely Inverse

##### 1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA pmr TR1-3-1-1} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA pmr TR1-3-1-1}$$

$$1,05 \times 360,8 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 360,8$$

$$378,84 < I_{\text{set}} < 505,12$$

$$\frac{378,84}{500/1} I_n < \text{tap} < \frac{505,12}{500/1} I_n$$

$$0,76 I_n < \text{tap} < 1,01 I_n$$

(pickup range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,85 In

$$I_{\text{set}} = 0,85 \times \frac{500}{1}$$

$$= 425 \text{ A}$$

##### 2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,3 detik

Isc kontribusi max 4cycle bus 125-3-1-1 = 15300 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,3 = \frac{80}{\left(\frac{15300}{425}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 388,5$$

$$tp = 4,85$$

dipilih time dial = 1,61

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 125-3-1-1 = 12600 A

$1,6 \times \text{FLA pmr TR1-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 125-3-1-1}$

$1,6 \times 360,8 < I_{>>} < 0,8 \times 12600$

$577,28 < I_{>>} < 10080$

$\frac{577,28}{500/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{10080}{500/1} \text{ In}$

$1,154 \text{ In} < \text{tap} < 20,16 \text{ In}$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 3 In

Iset =  $3 \times \frac{500}{1}$   
= 1500 A

4. Time Delay

Dipilih time delay = 0,3 s

**e. Rele 12-3-1-1**

Manufacture : Siemens

Model : 7SJ62

FLA primer TR1-3-1-1 + TR2-3-1-1 : 360,8 A + 360,8 A  
: 721,6 A

Curve Type : IEC – *Extremely Inverse*

CT ratio : 800 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA primer 2 trafo} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA primer 2 trafo}$

$1,05 \times 721,6 < \text{Iset} < 1,4 \times 721,6$

$757,68 < \text{Iset} < 1010,24$

$\frac{757,68}{800/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1010,24}{800/1} \text{ In}$

$0,947 \text{ In} < \text{tap} < 1,26 \text{ In}$

(pickup range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,95 In

Iset =  $0,95 \times \frac{800}{1}$   
= 760 A

## 2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,5 detik

Isc kontribusi max 4cycle bus 11A-3-1-1 = 11980 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,5 = \frac{80}{\left(\frac{11980}{760}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 123,74$$

$$tp = 1,55$$

dipilih *time dial* = 1,55

## 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1 = 10350 A

1,6 x FLA primer 2 trafo < I<sub>>></sub> < 0,8 x Isc min bus 11A-3-1-1

$$1,6 \times 721,6 < I_{>>} < 0,8 \times 10350$$

$$1154,36 < I_{>>} < 8280$$

$$\frac{1154,36}{800/1} In < tap < \frac{8280}{800/1} In$$

$$1,44 In < tap < 10,38 In$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 2,2 In

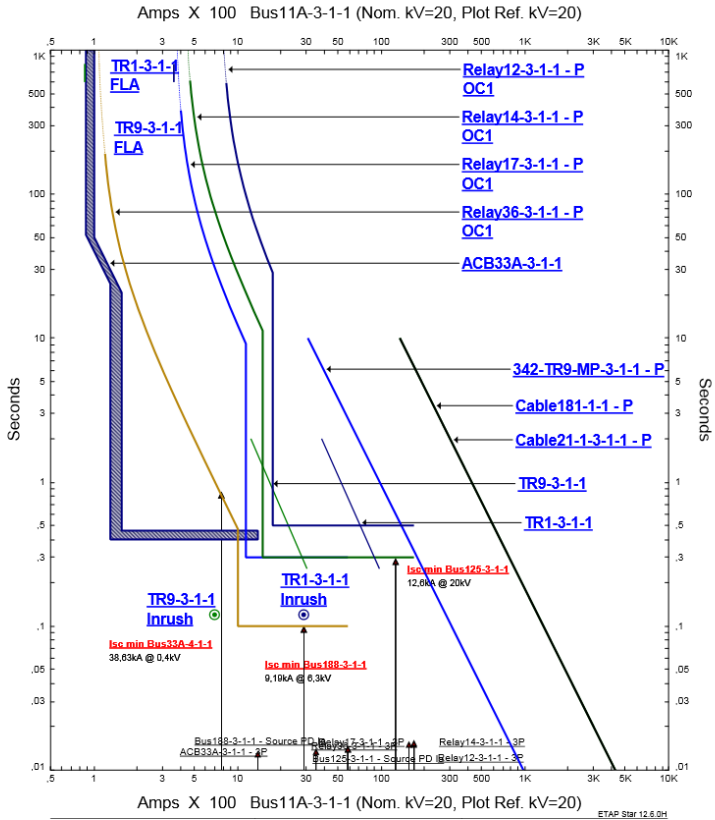
$$I_{set} = 2,2 \times \frac{800}{1}$$

$$= 1760 \text{ A}$$

## 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

Setelah dilakukan perhitungan, maka rele *disetting* sesuai dengan perhitungan di atas, kemudian rele – rele tersebut diplot *time current curve*-nya menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Selanjutnya akan dilakukan analisa hasil dari *plot* kurva rele pengaman tersebut, apakah sudah sesuai standar atau belum. Jika sudah sesuai standar yang ada, maka *setting* terhadap rele pengaman pada tipikal 2B sudah dapat dikatakan tepat. Tepat dalam menanggulangi gangguan yang muncul pada sistem kelistrikan dengan tepat dan cepat sesuai waktu yang diinginkan. Untuk *grading time* antar rele pengaman yang dipilih dalam koordinasi tipikal 1A ini adalah 0,2 detik, sesuai dengan standar IEEE 242-2001 sehingga menghasilkan kurva seperti yang terlihat pada Gambar 4.9 di bawah ini :



**Gambar 4. 12** Time Current Curve Tipikal 2B setelah dilakukan resetting

Pada Gambar 4.11 terlihat bahwa peralatan pengaman pada tipikal 1B sudah terkoordinasi dengan baik. Saat terjadi gangguan hubung singkat minimum *line to line* 30 cycle pada bus 33A-4-1-1, yang bekerja pertama kali untuk mengamankan gangguan adalah ACB33A-3-1-1 kemudian rele 36-3-1-1 sebagai *backupnya* dengan waktu delay 0,2 s.

Ketika bus 188-3-1-1 (bus di atas trafo TR9-3-1-1) terjadi gangguan, maka rele yang mengamankan gangguan pertama kali adalah rele 36-3-1-1 dengan waktu 100 ms dan sebagai *backup* adalah rele 17-3-1-1 dengan waktu 300 ms. Kemudian jika terjadi gangguan pada bus 125-3-1-1 (bus di atas trafo TR1-3-1-1) maka rele 14-3-1-1 akan bekerja sebagai pengaman utama, dan rele 12-3-1-1 sebagai *backupnya*.

Terdapat beberapa pertimbangan yang dilakukan saat melakukan *setting* koordinasi tipikal 2B. Rele pengaman sisi primer trafo TR1-3-1-1 (rele 14-3-1-1) memenuhi syarat untuk *reset time delay* kembali ke 0,1 s. Tetapi karena besar arus hubung singkat pada bus diatas trafo (bus 11A-3-1-1) lebih kecil dari besar arus hubung singkat pada bus primer trafo (bus 125-3-1-1), sehingga tidak dapat dilakukan *reset time delay*. Jika dilakukan *reset* kembali ke 0,1 s dapat terjadi kurva rele pengaman trafo yang saling bersinggungan, sehingga hal ini menyebabkan rele pengaman trafo TR1-3-1-1 memiliki *setting time delay* yang sama.

Selanjutnya dibawah ini akan ditampilkan urutan kerja dari peralatan pengaman di tipikal 2B.

**Tabel 4. 5** Sequence Viewer Gangguan pada Bus 33A-4-1-1

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus33A-4-1-1</i>						
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	<i>Condition</i>
1.	460	ACB33A-3-1-1	38.632	400	460	<i>Phase</i>
2.	696	Relay36-3-1-1	2,905	696		<i>Phase-OC1-51</i>
3.	756	6B21A-06-3-1-1		60,0		<i>Tripped by</i> Relay36-3-1-1 <i>Phase-OC1-51</i>
4.	19275	Relay17-3-1-1	2,905	19275		<i>Phase-OC1-51</i>
5.	19335	6B21A-03-3-1-1		60,0		<i>Tripped by</i> Relay17-3-1-1 <i>Phase-OC1-51</i>
6.	68753	Relay14-3-1-1	0,72	68753		<i>Phase-OC1-51</i>
7.	68813	20B11A-04-3-1-1		60,0		<i>Tripped by</i> Relay14-3-1-1 <i>Phase-OC1-51</i>

Dilihat dari Tabel 4.6 saat terjadi gangguan hubung singkat minimum *line to line* 30 cycle pada bus 33A-4-1-1 maka yang mengamankan pertama kali adalah ACB33a-4-1-1 dengan waktu 460 ms. Kemudian yang sebagai *backup* adalah rele 36-3-1-1 dengan waktu kerja 696 ms. Hal ini tentu masih sesuai dengan standar IEEE 242-2001 yang

menyatakan bawah selisih antara rele utama dan *backup* nya adalah 0,2 – 0,4 s (696 ms – 460 ms = 236 ms).

Selanjutnya akan ditampilkan urutan *trip* saat terjadi gangguan hubung singkat minimum *line to line* 30 cycle pada bus 188-3-1-1. Tabel 4.7

**Tabel 4. 6** Sequence Viewer Gangguan pada Bus 188-3-1-1

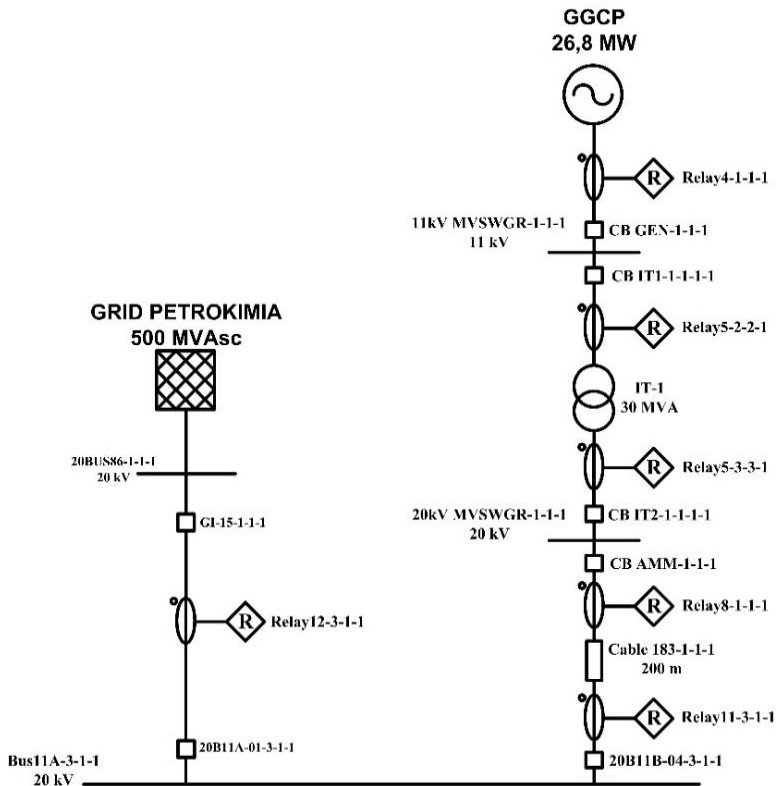
<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus188-3-1-1</i>					
No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
1.	100	Relay36-3-1-1	9,189	100	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	160	6B21A-06-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay36-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
3.	300	Relay14-3-1-1	3038	300	<i>Phase-OC1-50</i>
4.	300	Relay17-3-1-1	9189	300	<i>Phase-OC1-50</i>
5.	360	6B21A-03-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay17-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
6.	360	20B11A-04-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay14-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
7.	500	Relay12-3-1-1	2,489	500	<i>Phase-OC1-50</i>
8.	560	20B11A-01-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay12-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
9.	560	GI-15-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay12-3-1-1 Phase-OC1-50</i>

Pada Tabel 4.6 terlihat bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat minimum *line to line* 30 cycle pada bus 188-3-1-1 maka pengaman utama yang bekerja pertama kali adalah rele 36-3-1-1 kemudian rele 17-3-1-1 sebagai *backup* nya dengan selisih waktu kerja sebesar 0,2s Terlihat juga bahwa rele 17-3-1-1 dan rele 14-3-1-1 akan bekerja bersamaan karena memiliki *setting time delay* yang sama., sesuai dengan yang telah dijelaskan pada penjelasan gambar TCC Tipikal 2B.

#### 4.5 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 3

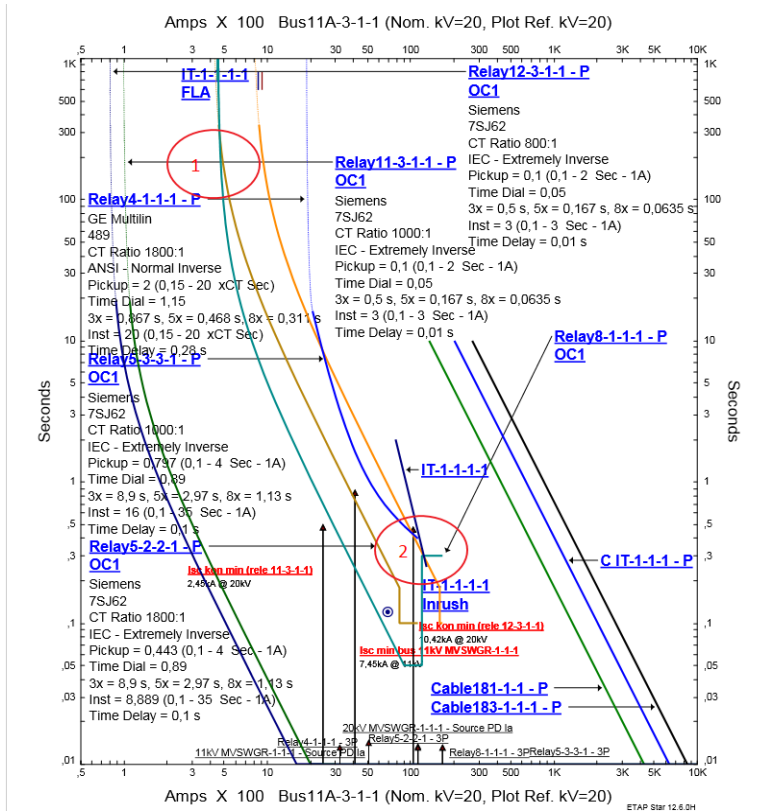
Pada tipikal 3 akan dijelaskan mengenai prioritas sumber. Prioritas yang dimaksud adalah sumber mana yang harus dimatikan terlebih dahulu jika terjadi gangguan hubung singkat pada bus yang menghubungkan kedua sumber tersebut.

Di bawah ini merupakan *single line diagram* dari tipikal 3, terlihat pada Gambar 4.12 di bawah ini :



**Gambar 4. 13** Single Line Diagram Tipikal 3

Sebelumnya kita lihat dulu *setting existing* rele pengaman yang ada pada Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik untuk tipikal ke 3 ini.



**Gambar 4. 14** Kurva TCC Existing Tipikal 3

Dari Gambar 4.12 terlihat bahwa *setting* rele – rele pengaman pada pabrik Amurea II untuk tipikal 3 masih kurang tepat, hal ini terlihat dari nomor 1 dan 2 bahwa masih banyak kurva rele –rele yang saling berpotongan. Ini tentunya harus dihindari saat melakukan *setting* rele pengaman agar tidak terjadi kesalahan urutan *trip* saat ada gangguan.

Selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk menentukan *setting* rele – rele pengaman pada tipikal 3. Dimulai dari rele 12-3-1-1 samapi ke rele pengaman generator rele 4-1-1-1.



**a. Rele 12-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	: Siemens
<i>Model</i>	: 7SJ62
<i>FLA primer TR1-3-1-1 + TR2-3-1-1</i>	: 360,8 A + 360,8 A
	: 721,6 A
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT ratio</i>	: 800 / 1

1. *Time Overcurrent Pickup*

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA primer 2 trafo} &< I_{set} < 1,4 \times \text{FLA primer 2 trafo} \\1,05 \times 721,6 &< I_{set} < 1,4 \times 721,6 \\757,68 &< I_{set} < 1010,24 \\ \frac{757,68}{800/1} I_n &< \text{tap} < \frac{1010,24}{800/1} I_n \\0,947 I_n &< \text{tap} < 1,26 I_n \\(\text{pickup range } 0,1 I_n - 4 I_n \text{ sekunder CT} - 1A; \text{ step } 0,01 I_n) \\ \text{Dipilih tap} &= 0,95 I_n \\ I_{set} &= 0,95 \times \frac{800}{1} \\ &= 760 \text{ A}\end{aligned}$$

2. *Time Dial*

$$\begin{aligned}\text{Waktu operasi (t)} &= 0,5 \text{ detik} \\ \text{Isc kontribusi max 4cycle bus 11A-3-1-1} &= 11980 \text{ A} \\ t &= \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp \\ 0,5 &= \frac{80}{\left(\frac{11980}{760}\right)^2 - 1} \times tp \\ 80tp &= 123,74 \\ tp &= 1,55 \\ \text{dipilih time dial} &= 1,55\end{aligned}$$

3. *Instantaneous Pickup*

$$\begin{aligned}\text{Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1} &= 10350 \text{ A} \\ 1,6 \times \text{FLA primer 2 trafo} &< I_{set} < 0,8 \times \text{Isc min bus 11A-3-1-1} \\ 1,6 \times 721,6 &< I_{set} < 0,8 \times 10350 \\ 1154,36 &< I_{set} < 8280 \\ \frac{1154,36}{800/1} I_n &< \text{tap} < \frac{8280}{800/1} I_n \\ 1,44 I_n &< \text{tap} < 10,38 I_n \\ (\text{pickup range } 0,1 I_n - 35 I_n \text{ sekunder CT} - 1A; \text{ step } 0,01 I_n)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Dipilih tap} &= 2,2 \text{ In} \\ \text{Iset} &= 2,2 \times \frac{800}{1} \\ &= 1760 \text{ A}\end{aligned}$$

4. Time Delay

$$\text{Dipilih time delay} = 0,5 \text{ s}$$

**b. Rele 11-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	: Siemens
<i>Model</i>	: 7SJ62
<i>FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1</i>	: 866 A
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT ratio</i>	: 1000 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} \\ 1,05 \times 866 &< \text{Iset} < 1,4 \times 866 \\ 909,3 &< \text{Iset} < 1212,4 \\ \frac{909,3}{1000/1} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{1212,4}{1000/1} \text{ In} \\ 0,9093 \text{ In} &< \text{tap} < 1,2124 \text{ In} \\ (\text{range } 0,1 \text{In} - 4 \text{In sekunder CT} - 1 \text{A; step } 0,01 \text{In}) \\ \text{Dipilih tap} &= 0,95 \text{ In} \\ \text{Iset} &= 0,95 \times \frac{1000}{1} \\ &= 950 \text{ A}\end{aligned}$$

2. Time Dial

$$\begin{aligned}\text{Waktu operasi (t)} &= 0,7 \text{ detik} \\ \text{Isc max kontribusi 4cycle bus 11A-3-1-1} &= 3160 \text{ A} \\ t &= \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp \\ 0,7 &= \frac{80}{\left(\frac{3160}{950}\right)^2 - 1} \times tp \\ 80tp &= 7,045 \\ tp &= 0,088 \\ \text{dipilih time dial} &= 1,5\end{aligned}$$

3. Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}\text{Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1} &= 2450 \text{ A} \\ 1,6 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} &< I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21B-3-1-1} \\ 1,6 \times 866 &< I_{>>} < 0,8 \times 2450\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1385,6 < I_{>>} < 1960 \\
 \frac{1385,6}{1000/1} I_n < \text{tap} < \frac{1960}{1000/1} I_n \\
 1,3856 I_n < \text{tap} < 1,96 I_n \\
 (\text{range } 0,1 I_n - 35 I_n \text{ sekunder CT} - 1A; \text{step } 0,01 I_n) \\
 \text{Dipilih tap} &= 1,8 I_n \\
 \text{Iset} &= 1,8 \times \frac{1000}{1} \\
 &= 1800 \text{ A}
 \end{aligned}$$

4. Time Delay

$$\text{Dipilih time delay} = 0,7 \text{ s}$$

c. **Rele 8-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	: Schneider Electric
<i>Model</i>	: Sepam Series 10
<i>FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1</i>	: 866 A
<i>Curve Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse Time</i>
<i>CT ratio</i>	: 1000 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} \\
 1,05 \times 866 < \text{Iset} < 1,4 \times 866 \\
 909,3 < \text{Iset} < 1212,4 \\
 \frac{909,3}{1000/1} I_n < \text{tap} < \frac{1212,4}{1000/1} I_n \\
 0,9093 I_n < \text{tap} < 1,2124 I_n \\
 (\text{range } 0,1 I_n - 4 I_n \text{ sekunder CT} - 1A; \text{step } 0,01 I_n) \\
 \text{Dipilih tap} &= 0,95 I_n \\
 \text{Iset} &= 0,95 \times \frac{1000}{1} \\
 &= 950 \text{ A}
 \end{aligned}$$

2. Time Dial

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu operasi (t)} &= 0,7 \text{ detik} \\
 \text{Isc max } 4\text{cycle bus 11A-3-1-1} &= 3160 \text{ A} \\
 t &= \frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p - 1} \times \text{TMS} \\
 0,7 &= \frac{80}{\left(\frac{3160}{950}\right)^2 - 1} \times \text{TMS} \\
 80\text{TMS} &= 7,045 \\
 \text{TMS} &= 0,088 \\
 \text{dipilih time dial} &= 1,5
 \end{aligned}$$

### 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1 = 2450 A

$$1,6 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21B-3-1-1}$$

$$1,6 \times 866 < I_{>>} < 0,8 \times 2450$$

$$1385,6 < I_{>>} < 1960$$

$$\frac{1385,6}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1960}{1000/1} \text{ In}$$

$$1,3856 \text{ In} < \text{tap} < 1,96 \text{ In}$$

(range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,8 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 1,8 \times \frac{1000}{1} \\ &= 1800 \text{ A} \end{aligned}$$

### 4. Time Delay

$$\text{Dipilih time delay} = 0,7 \text{ s}$$

## d. **Rele 5-3-3-1**

*Manufacture* : Siemens

*Model* : 7SJ62

*FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1* : 866 A

*CT ratio* : 1000 / 1

*Curve Type* : IEC – *Extremely Inverse*

### 1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1}$$

$$1,05 \times 866 < \text{Iset} < 1,4 \times 866$$

$$909,3 < \text{Iset} < 1212,4$$

$$\frac{909,3}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1212,4}{1000/1} \text{ In}$$

$$0,9093 \text{ In} < \text{tap} < 1,2124 \text{ In}$$

(range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,95 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,95 \times \frac{1000}{1} \\ &= 950 \text{ A} \end{aligned}$$

### 2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,7 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 20kV MVSWGR-1-1-1 = 3160 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{3160}{950}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 7,094$$

$$tp = 0,088$$

dipilih *time dial* = 1,5

### 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1 = 2450 A

1,6 x FLA sek TR2-3-1-1 < I<sub>>></sub> < 0,8 x Isc min 20kV MVSWGR-1-1-1

$$1,6 \times 866 < I_{>>} < 0,8 \times 2450$$

$$1385,6 < I_{>>} < 1960$$

$$\frac{1385,6}{1000/1} In < tap < \frac{1960}{1000/1} In$$

$$1,3856 In < tap < 1,96 In$$

(range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,8 In

$$Iset = 1,8 \times \frac{1000}{1}$$

$$= 1800 A$$

### 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,7 s

## e. **Rele 5-2-2-1**

*Manufacture* : Siemens

*Model* : 7SJ62

*FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1* : 1575 A

*CT ratio* : 1800 / 1

*Curve Type* : IEC – *Extremely Inverse*

### 1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ pmr IT-1-1-1-1} < Iset < 1,4 \times FLA \text{ pmr IT-1-1-1-1}$$

$$1,05 \times 1575 < Iset < 1,4 \times 1575$$

$$1653,75 < Iset < 2205$$

$$\frac{1653,75}{1800/1} In < tap < \frac{2205}{1800/1} In$$

$$0,92 In < tap < 1,225 In$$

(range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,1 In

$$Iset = 1,1 \times \frac{1800}{1}$$

$$= 1980A$$

## 2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,7 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 4-2-1-1-1 = 10360 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{10360}{1980}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 18,464$$

$$tp = 0,23$$

dipilih *time dial* = 3

## 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 4-2-1-1-1 = 7450 A

$$1,6 \times \text{FLA pmr TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 4-2-1-1-1}$$

$$1,6 \times 1575 < I_{>>} < 0,8 \times 7450$$

$$2520 < I_{>>} < 5960$$

$$\frac{2520}{1800/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{5960}{1800/1} \text{ In}$$

$$1,4 \text{ In} < \text{tap} < 3,31 \text{ In}$$

(range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 2,75 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 2,75 \times \frac{1800}{1} \\ &= 4950 \text{ A} \end{aligned}$$

## 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,7 s

## f. **Rele 4-1-1-1**

*Manufacture* : GE Multilin

*Model* : 489

*FLA generator GGCP* : 1758 A

*CT ratio* : 1800 / 1

*Curve Type* : IEC – C

## 1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA generator GGCP} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA generator GGCP}$$

$$1,05 \times 1758 < \text{Iset} < 1,4 \times 1758$$

$$1845,9 < \text{Iset} < 2461,2$$

$$\frac{1845,9}{1800/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{2461,2}{1800/1} \text{ In}$$

$$1,0255 \text{ In} < \text{tap} < 1,3673 \text{ In}$$

(range 0,15 – 20 xCT sekunder; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,2 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 1,2 \times \frac{1800}{1} \\ &= 2160 \text{ A} \end{aligned}$$

## 2. Time Dial

Waktu operasi (T) = 0,9 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 11kV MVSWGR 1-1-1 = 10160 A

$$T = M \times \frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^E - 1}$$

$$0,9 = M \times \frac{80}{\left(\frac{10160}{2160}\right)^2 - 1}$$

$$80M = 20,41$$

$$M = 0,255$$

dipilih *time dial* = 5,58

## 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11kV MVSWGR 1-1-1 = 7450 A

1,6 x FLA generator < I<sub>></sub> < 0,8 x Isc min 11kV MVSWGR 1-1-1

$$1,6 \times 1655 < I_{>} < 0,8 \times 7450$$

$$2648 < I_{>} < 5960$$

$$\frac{2648}{1800/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{5960}{1800/1} \text{ In}$$

$$1,47 \text{ In} < \text{tap} < 3,31 \text{ In}$$

(range 0,15 – 20 xCT sekunder; step 0,01In)

Dipilih tap = 2,4 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 2,4 \times \frac{1800}{1} \\ &= 4320 \text{ A} \end{aligned}$$

## 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,9 s

Setelah dilakukan perhitungan untuk *setting* rele –rele pengaman pada tipikal 3 lalu dilakukan *plot* TCC dengan bantuan *software* ETAP. Dibawah ini adalah gambar TCC dari tipikal 3 yang telah dilakukan *setting* ulang rele –rele pengamannya.





**Tabel 4. 7** Sequence Viewer Gangguan pada Bus 11A-3-1-1 (Tipikal 3)

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus164-3-1-1</i>					
No.	<i>Time (ms)</i>	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
1.	500	Relay12-3-1-1	10,421	500	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	560	20B11A-01-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay12-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
3.	560	GI-15-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay12-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
4.	700	Relay5-2-2-1	5.233	700	<i>Phase-OC1-50</i>
5.	700	Relay5-3-3-1	2.448	700	<i>Phase-OC1-50</i>
6.	700	Relay8-1-1-1	2.448	700	<i>Phase-OC1-50</i>
7.	700	Relay11-3-1-1	2.448	700	<i>Phase-OC1-50</i>
8.	760	20B11B-04-3-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay11-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
9.	760	CB AMM-1-1-1		60,0	<i>Tripped by Relay8-1-1-1 Phase-OC1-50</i>
10.	770	CB IT1-1-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay5-2-2-1 Phase-OC1-50</i>
11.	770	CB IT2-1-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay5-3-3-1 Phase-OC1-50</i>
12.	900	Relay4-1-1-1	5,233	900	<i>Phase-OC1-50</i>
13.	970	CB GEN-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay4-1-1-1 Phase-OC1-50</i>

#### 4.6 Analisa Nilai Energi Busur Api (*Arc Flash*) pada Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik

Setelah dilakukan analisa pada sistem koordinasi proteksi di Pabrik Amurea II, maka selanjutnya adalah melakukan analisa bahaya busur api (*Arc Flash*) yang dapat terjadi. Analisa ini dilakukan dengan membandingkan besar energi busur api yang muncul pada sistem kondisi *existing* dan setelah dilakukan *resetting* sistem pengamannya. Hal ini

dilakukan karena besar energi yang muncul bergantung pada seberapa cepat sistem pengaman menetralkan gangguan yang muncul, tetapi sebelumnya harus dipastikan bahwa sistem pengaman telah terkoordinasi dengan benar sehingga tidak terjadi kesalahan urutan *trip* pada CB pengaman.

#### 4.6.1 Nilai Energi Busur Api (*Arc Flash*) Kondisi Existing

Sebelum dianalisa untuk sistem yang telah di *resetting* maka perlu diketahui nilai dari energi busur api yang muncul pada kondisi *existing* di sistem kelistrikan Pabrik Amurea II. Hal ini dilakukan dengan melakukan simulasi dengan bantuan *software* ETAP maka akan diketahui besar *incident energy* (IE), *bolted fault current* (Ibf), *arcing current* (Ia) dan *fault clearing time* (FCT). Hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.9 di bawah ini.

**Tabel 4. 8** Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi Existing Pabrik Amurea II

BUS ID	Ibf (kA)	Ia (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm2)	Kategori Level
6kV MVSWGR	3,204	3,17	0,219	0,980	Level 0
11kV MVSWGR-1- 1-1	19,402	18,62	1,092	33,14	Level 4
20kV MVSWGR-1- 1-1	16,159	16,159	1,285	254,3	> Max
Bus11A-3-1-1	16,337	16,337	0,076	15,21	Level 3
Bus13-1-3-1-1	9,521	5,43	0,011	0,121	Level 0
Bus21A-3-1-1	15,572	15	0,076	1,83	Level 1
Bus21B-3-1-1	15,453	14,887	0,076	1,81	Level 1
Bus22EM-3-1- 1	15,572	15	0,076	1,83	Level 1
Bus31A-4-1-1	36,435	7,106	0,076	2,17	Level 1
Bus31B-4-1-1	36,96	7,162	0,076	2,19	Level 1
Bus32A-4-1-1	40,564	7,535	0,076	2,32	Level 1
Bus32B-4-1-1	39,47	7,423	0,076	2,28	Level 1
Bus33A-4-1-1	55,91	22,156	0,08	3,96	Level 1

**Tabel 4.8** Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Existing* Pabrik Amurea II (Lanjutan)

BUS ID	Ibf (kA)	Ia (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori Level
Bus33B-4-1-1	48,831	19,897	0,076	3,35	Level 1
Bus34-4-1-1	16,833	8,538	0,016	0,282848	Level 0
Bus35EM-5-1-1	41,209	7,599	0,076	2,34	Level 1
Bus51-3-1-1	36,232	15,698	0,008	0,272812	Level 0
Bus52-3-1-1	36,232	15,698	0,008	0,272812	Level 0
EMER SWGR	18,46	9,188	0,032	0,612355	Level 0
LV1 SWGR	18,46	9,188	0,032	0,612355	Level 0
LV2 SWGR	20,371	9,935	0,032	0,666387	Level 0
LVS-43EM-3-1-1	47,283	19,394	0,008	0,353988	Level 0
MCC CONVEYOR-3-1-1	15,01	7,796	0,01	0,160878	Level 0
MCC WTP-3-1-1	51,639	20,8	0,008	0,369827	Level 0
MCC WWTP-3-1-1	7,888	4,676	0,01	0,093151	Level 0
PDP-342-3-1-1	36,232	15,698	0,008	0,272812	Level 0

#### 4.6.2 Nilai Energi Busur Api (*Arc Flash*) Kondisi *Resetting*

Selanjutnya setelah diketahui besar energi *Arc Flash* yang muncul pada kondisi *existing*, selanjutnya akan dianalisa besar energi *Arc Flash* setelah dilakukan *resetting* pada sistem pengaman Pabrik Amurea II. Sebagaimana telah dianalisa sebelumnya bahwa saat kondisi *existing* sistem pengaman masih belum bekerja dengan tepat. Dan setelah dilakukan *resetting* sistem pengaman mampu menanggulangi gangguan yang muncul dengan urutanyang terkoordinasi dengan benar. Besar energi *Arc Flash* akan dihitung sesuai dengan standar IEEE 1584-2002.

Setelah dilakukan perhitungan, besar energi yang muncul juga akan dibandingkan dengan hasil simulasi dengan bantuan *software* ETAP. Berikut ini adalah hasil simulasi energi *arc flash* yang muncul. Tabel 4.9

**Tabel 4. 9** Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi Resetting Pabrik Amurea II

<b>BUS ID</b>	<b>Ibf (kA)</b>	<b>Ia (kA)</b>	<b>FCT (s)</b>	<b>Insiden Energi (cal/cm2 )</b>	<b>Kategor i Level</b>
6kV MVSWGR	3,204	3,17	0,36	1,24	Level 1
11kV MVSWGR-1- 1-1	19,40 2	18,62	0,96	22,47	Level 3
20kV MVSWGR-1- 1-1	16,15 9	16,159	0,76	150,45	> Max
Bus11A-3-1-1	16,33 7	16,337	0,76	152,11	> Max
Bus13-1-3-1-1	9,521	5,43	0,01	0,111623	Level 0
Bus21A-3-1-1	15,57 2	15	0,36	6,67	Level 2
Bus21B-3-1-1	15,45 3	14,887	0,36	6,61	Level 2
Bus22EM-3-1- 1	15,57 2	15	0,36	6,67	Level 2
Bus31A-4-1-1	36,43 5	7,106	0,48	13,73	Level 3
Bus31B-4-1-1	36,96	7,162	0,48	13,85	Level 3
Bus32A-4-1-1	40,56 4	7,535	0,48	14,63	Level 3
Bus32B-4-1-1	39,47	7,423	0,48	14,4	Level 3
Bus33A-4-1-1	55,91	22,156	0,46	22,8	Level 3
Bus33B-4-1-1	48,83 1	19,897	0,46	20,29	Level 3
Bus34-4-1-1	16,83 3	8,538	0,46	8,13	Level 3
Bus35EM-5-1- 1	41,20 9	7,599	0,48	14,77	Level 3

**Tabel 4.9** Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting* Pabrik Amurea II (Lanjutan)

BUS ID	Ibf (kA)	Ia (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori Level
Bus51-3-1-1	36,232	15,698	0,007	0,238	Level 0
Bus52-3-1-1	36,232	15,698	0,007	0,238	Level 0
EMER SWGR	18,46	9,188	0,3	5,74	Level 2
LV1 SWGR	18,46	9,188	0,3	5,74	Level 2
LV2 SWGR	20,371	9,935	0,3	6,25	Level 2
LVS-43EM-3-1-1	47,283	19,394	0,013	0,538	Level 0
MCC CONVEYOR-3-1-1	15,01	7,796	0,01	0,161	Level 0
MCC WTP-3-1-1	51,639	20,8	0,008	0,381	Level 0
MCC WWTP-3-1-1	7,888	4,676	0,021	0,195	Level 0
PDP-342-3-1-1	36,232	15,698	0,007	0,238	Level 0

Setelah diketahui besar energi *arc flash* yang muncul dari hasil simulasi, selanjutnya akan dilakukan perhitungan besaran arus arcing (Ia) dan energi (E) sesuai dengan standar IEEE 1584 – 2002. Perhitungan dilakukan pada bus yang terdapat dalam tipikal saja. Untuk data – data lain yang dibutuhkan pada perhitungan seperti FCT, *working distance*, *X factor*, akan diambil dari nilai tipikal sesuai standar IEEE 1584-2002. Berikut data – data yang dibutuhkan untuk perhitungan.

**Tabel 4. 10** Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api

BUS ID	Tegangan (kV)	Gap Bus (mm)	Working Distance (mm)	FCT (detik)	Ibf (kA)
11kV MVSWGR-1-1-1	11	124	36	0,96	19,402

**Tabel 4.10** Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api

BUS ID	Tegangan (kV)	Gap Bus (mm)	Working Distance (mm)	FCT (detik)	I <sub>bf</sub> (kA)
20kV MVSWGR- 1-1-1	20	-	36	0,76	16,159
Bus11A-3- 1-1	20	-	36	0,76	16,337
Bus21A-3- 1-1	6,3	124	36	0,36	15,572
Bus21B-3-1- 1	6,3	124	36	0,36	15,453
Bus33A-4- 1-1	0,4	30	24	0,46	55,91
LVS-43EM- 3-1-1	0,4	30	24	0,013	47,283
Bus13-1-3- 1-1	0,4	30	24	0,01	9,521

Setelah didapatkan data – data untuk perhitungan, maka akan dilakukan perhitungan besarnya energi busur yang api di tiap – tiap bus. Berikut ini adalah perhitungan besarnya energi busur api. Seperti telah dijelaskan sebelumnya perhitungan dilakukan pada bus yang terdapat pada tipikal saja. Hasil perhitungan energi busur api pada seluruh bus terlampir

Perhitungan energi busur api tipikal 1

- **Bus 21B-3-1-1 (6,3 kV)**

Perhitungan *Arcing Current* (I<sub>a</sub>) :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf}$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg 15,45$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \times 1,188$$

$$\lg I_a = 1,172$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 14,88 \text{ kA}$$

Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 14,88) + 0,0011 \times 124$$

$$\lg E_n = 0,7361$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 5,44 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \text{ C}_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1 \times 5,44 \times \left( \frac{0,36}{0.2} \right) \times \left( \frac{610^{0,973}}{910^{0,973}} \right)$$

$$E = 27,79 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 27,79 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 6,64 \text{ cal/cm}^2 \text{ (LEVEL 2)}$$

- **Bus 11A3-1-1 (20 kV)**

Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$E = 2,142 \times 10^6 \text{ V } I_{bf} \left( \frac{t}{D^2} \right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 16,33 \left( \frac{0,76}{910^2} \right)$$

$$E = 642,43 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 642,43 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 153,41 \text{ cal/cm}^2 (> \text{LEVEL 4})$$

- **Bus 20kV MVSWGR-1-1-1 (20 kV)**

Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$E = 2,142 \times 10^6 \text{ V } I_{bf} \left( \frac{t}{D^2} \right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 16,16 \left( \frac{0,76}{910^2} \right)$$

$$E = 635,36 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 635,36 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 151,72 \text{ cal/cm}^2 (> \text{LEVEL 4})$$

- **Bus 11kV MVSWGR-1-1-1 (11 kV)**

Perhitungan *Arcing Current* (Ia) :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf}$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg 19,4$$

$$\lg I_a = 1,269$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 18,62 \text{ kA}$$

Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 \text{ G}$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 18,62) + 0,0011 \times 124$$

$$\lg E_n = 0,841$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 6,93 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \text{ C}_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1 \times 6,93 \times \left( \frac{0,96}{0.2} \right) \times \left( \frac{610^{0,973}}{910^{0,973}} \right)$$

$$E = 94,407 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 94,407 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 22,54 \text{ cal/cm}^2 \text{ (LEVEL 3)}$$

Perhitungan energi busur api tipikal 2

- **Bus 13-1-3-1-1 (0,4 kV)**

Perhitungan *Arcing Current* (I<sub>a</sub>)

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 9,52) + 0,0966(0,4) + 0,000526(30) + 0,5588(0,4)(\lg 9,52) - 0,00304(30) (\lg 9,52)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(0,978) + 0,0966(0,4) + 0,000526(30) + 0,5588(0,4)(0,978) - 0,00304(30) (0,978)$$

$$\lg I_a = 0,734$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 5,43 \text{ kA}$$

Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 5,43) + 0,0011 \times 30$$

$$\lg E_n = 0,159$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 1,44 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,55 \times \left( \frac{0,01}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^{1,473}}{610^{1,473}} \right)$$

$$E = 0,452 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 0,452 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 0,11 \text{ cal/cm}^2 \text{ (LEVEL 0)}$$

- **Bus LVS-43EM-3-1-1 (0,4 kV)**

Perhitungan *Arcing Current* (I<sub>a</sub>)

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 47,28) + 0,0966(0,4) + 0,000526(30) + 0,5588(0,4)(\lg 47,28) - 0,00304(30) (\lg 47,28)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,67) + 0,0966(0,4) + 0,000526(30) + 0,5588(0,4)(1,67) - 0,00304(30) (1,67)$$

$$\lg I_a = 1,28$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 19,39 \text{ kA}$$



Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 5,43) + 0,0011 \times 30$$

$$\lg E_n = 0,159$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 1,44 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,44 \times \left( \frac{0,013}{0.2} \right) \times \left( \frac{610^{1,473}}{610^{1,473}} \right)$$

$$E = 2,33 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 2,33 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 0,56 \text{ cal/cm}^2 \text{ (LEVEL 0)}$$

- **Bus 33A-4-1-1 (0,4 kV)**

Perhitungan *Arcing Current* (Ia)

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 55,91) + 0,0966(0,4) + 0,000526(30) + 0,5588(0,4)(\lg 55,91) - 0,00304(30) (\lg 55,91)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,74) + 0,0966(0,4) + 0,000526(30) + 0,5588(0,4)(1,74) - 0,00304(30) (1,74)$$

$$\lg I_a = 1,34$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 22,16 \text{ kA}$$

Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 22,16) + 0,0011 \times 30$$

$$\lg E_n = 0,819$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 95,25 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,44 \times \left( \frac{0,460}{0.2} \right) \times \left( \frac{610^{1,473}}{610^{1,473}} \right)$$

$$E = 95,25 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 95,75 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 0,56 \text{ cal/cm}^2 \text{ (LEVEL 3)}$$

- **Bus 21A-3-1-1 (6,3 kV)**

Perhitungan *Arcing Current* (Ia) :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf}$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg 15,57$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \times 1,19$$

$$\lg I_a = 1,176$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 15,00 \text{ kA}$$

Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 15,00) + 0,0011 \times 124$$

$$\lg E_n = 0,739$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 5,49 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1 \times 5,44 \times \left( \frac{0,36}{0.2} \right) \times \left( \frac{610^{0,973}}{910^{0,973}} \right)$$

$$E = 28,024 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 28,024 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 6,69 \text{ cal/cm}^2 \text{ (LEVEL 2)}$$

- **Bus 11A3-1-1 (20 kV)**

Perhitungan sama seperti pada tipikal 1

$$E = 153,41 (> \text{LEVEL 4})$$

Perhitungan energi busur api tipikal 3

Perhitungan energi busur api pada tiap bus di tipikal 3 sudah diwakili oleh perhitungan pada tipikal 1 dan 2

Setelah dilakukan perhitungan, maka dapat diketahui besarnya *incident energy* yang muncul pada tiap bus yang termasuk pada tipikal. Berikut adalah besarnya *incident energy* pada tiap bus yang termasuk dalam tipikal.

**Tabel 4. 11** Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi Resetting Pabrik Amurea II

Bus ID	Arc Time FCT (s)	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori Level
11kV MVSAGR- 1-1-1	0,96	19,402	18,62	22,54	Level 3
20kV MVSAGR- 1-1-1	0,76	16,159	15,56	151,72	> Level 4
Bus11A-3-1- 1	0,76	16,337	15,73	152,41	> Level 4

**Tabel 4. 11** Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi Resetting Pabrik Amurea II (Lanjutan)

<b>Bus ID</b>	<b>Arc Time FCT (s)</b>	<b>Arus Bolted Fault (kA)</b>	<b>Arus Arcing (kA)</b>	<b>Insiden Energi (cal/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kategori Level</b>
Bus21A-3-1-1	0,36	15,572	15,00	6,69	Level 2
Bus21B-3-1-1	0,36	15,453	14,88	6,64	Level 2
Bus33A-4-1-1	0,46	55,91	22,16	22,75	Level 3
LVS-43EM-3-1-1	0,013	47,283	19,39	0,56	Level 0
Bus13-1-3-1-1	0,01	9,521	5,43	0,11	Level 0

Selanjutnya akan dibandingkan besar energi busur api yang muncul antara hasil simulasi dengan hasil perhitungan. Perbandingan besar *incident energy* dapat dilihat pada Tabel 4.13 dibawah ini.

**Tabel 4. 12** Perbandingan Energi Busur Api dan Kategori Busur Api Kondisi *Existing, Resetting* Pabrik Amurea II

<b>BUS ID</b>	<b><i>Existing</i></b>		<b><i>Resetting</i></b>		
	<b>Insiden Energi (cal/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Level</b>	<b>Simulasi Insiden Energi (cal/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Hitungan Insiden Energi (cal/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Level</b>
11kV MVSWGR-1-1-1	40,18	>Max.	22,47	22,54	Level 3
20kV MVSWGR-1-1-1	253,4	>Max.	150,45	151,72	> Max.
Bus11A-3-1-1	15,21	Level 3	152,11	153,41	> Max.
Bus21A-3-1-1	1,83	Level 1	6,67	6,69	Level 2
Bus21B-3-1-1	1,81	Level 1	6,61	6,64	Level 2

**Tabel 4.12** Perbandingan Energi Busur Api dan Kategori Busur Api Kondisi *Existing, Resetting* Pabrik Amurea II (lanjutan)

BUS ID	<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>		
	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Level	Simulasi Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Hitungan Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Level
Bus33A-4-1-1	3,96	Level 1	22,8	22,75	Level 3
LVS-43EM-3-1-1	0,35	Level 0	0,54	0,56	Level 0
Bus13-1-3-1-1	0,13	Level 0	0,11	0,11	Level 0

Dari hasil perhitungan dan hasil simulasi dapat dilihat bahwa hasil yang didapatkan tidak berbeda terlalu jauh, bahkan bisa dikatakan sama untuk pengkategorian tingkat *incident energy* yang muncul (mengacu pada standar NFPA 70E). Pada beberapa bus terdapat peningkatan level busur api yang muncul dan terdapat pula beberapa bus yang mengalami penurunan level busur api. Hal ini dipengaruhi oleh waktu operasi rele pada saat mengamankan sistem dari gangguan atau FCT (*fault clearing time*). Pada bus yang mengalami peningkatan level busur api setelah dilakukan *resetting* disebabkan karena pada kondisi *existing* rele belum terkoordinasi dengan baik dan setelah dilakukan *resetting* rele mengalami peningkatan waktu kerja. Hal ini yang menyebabkan terjadinya peningkatan level *incident energy*.

Tetapi terlihat pada bus 11A-3-1-1 dan bus 20kV MVSWGR-1-1 besar *incident energy* yang timbul sangat besar, melebihi kategori yang diperbolehkan (> level 4). Hal ini tentu sangat berbahaya untuk para pekerja disekitarnya karena tidak terdapat *Personal Protective Equipment* (PPE) yang mampu melindungi pekerja dari bahaya busur api yang timbul. Oleh karena itu diperlukan suatu cara untuk menurunkan tingkatan energi yang muncul sehingga tidak membahayakan pekerja.

Salah satu cara untuk memperkecil besar *incident energy* yang muncul adalah dengan menambahkan rele diferensial untuk mempercepat waktu proses pemutusan daya ketika terjadi gangguan pada bus yang diamankan oleh rele itu sendiri. Waktu kerja untuk rele diferensial berada pada *range 1 – 3 cycle*. Berikut hasil simulasi besar *incident energy* pada bus 11A-3-1-1 dan bus 20kV MVSWGR-1-1 setelah dilakukan penambahan rele diferensial dapat dilihat pada Tabel 4.14.

**Tabel 4. 13** Hasil Simulasi Energi Busur Api Setelah Penambahan Rele Diferensial pada bus

BUS ID	I <sub>bf</sub> (kA)	I <sub>a</sub> (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori Level
20kV MVSWGR-1-1-1	16,16	15,56	0,08	16,01	Level 3
Bus11A-3-1-1	16,34	15,73	0,08	15,84	Level 3

Berikut ini adalah hasil perhitungan setelah dilakukan penambahan rele diferensial pada bus 11A-3-1-1 dan bus 20kV MVSWGR-1-1.

- **Bus 20kV MVSWGR-1-1-1 (20 kV)**

Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$E = 2,142 \times 10^6 \text{ V } I_{bf} \left( \frac{t}{D^2} \right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 16,16 \left( \frac{0,08}{910^2} \right)$$

$$E = 66,88 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 66,88 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 15,97 \text{ cal/cm}^2 \text{ ( LEVEL 3 )}$$

- **Bus 11A3-1-1 (20 kV)**

Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$E = 2,142 \times 10^6 \text{ V } I_{bf} \left( \frac{t}{D^2} \right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 16,33 \left( \frac{0,08}{910^2} \right)$$

$$E = 67,62 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 67,62 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 16,15 \text{ cal/cm}^2 \text{ ( LEVEL 3 )}$$

Setelah dilakukan penambahan rele diferensial pada bus 11A-3-1-1 dan bus 20kV MVSWGR-1-1 terlihat tingkat energi yang muncul dapat berkurang. Sebelum ditambahkan rele diferensial tingkat energi yang muncul lebih dari level 4 yang sangat berbahaya untuk para pekerja disekitarnya. Setelah dilakukan penambahan rele diferensial level energi yang timbul dapat berkurang menjadi level 3, sehingga pekerja disekitarnya tetap bisa bekerja disekitar area dengan menggunakan PPE (*Personal Protective Equipment*) sesuai standar yang telah dijelaskan pada Bab 2.

## 4.7 Perhitungan Flash Protection Boundary (FPB)

Dari hasil perhitungan besar *incident energy* dan juga tingkatannya pada masing – masing bus, maka selanjutnya dapat dihitung jarak *protection boundary* pekerja. *Protection boundary* adalah jarak kerja aman pekerja dengan suatu peralatan bertegangan. Selama pekerja masih didalam jarak aman ini maka pekerja masih aman dari bahaya busur api yang kemungkinan muncul tanpa harus menggunakan PPE (*Personal Protective Equipment*). Perhitungan *flash protection boundary* menggunakan standar IEEE 1584-2002 dimana insiden energi yang digunakan 5,0 J/cm<sup>2</sup>. Dibawah ini merupakan perhitungan *flash protection boundary* pada bus yang terdapat pada tipikal. Untuk keseluruhan bus akan terlampir pada lampiran 2.

### 4.7.1 Perhitungan *flash protection boundary* pada bus di tipikal 1

1. Untuk bus dengan tegangan di bawah 15 kV

#### **21B-3-1-1**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[ 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$
$$D_B = \left[ 4,184 \times 1 \times 5,44 \times \left( \frac{0,36}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$
$$D_B = 5305,37 \text{ mm}$$
$$D_B = 5,3 \text{ m}$$

#### **11kV MVSWGR -1-1-1**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[ 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$
$$D_B = \left[ 4,184 \times 1 \times 6,93 \times \left( \frac{0,96}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$
$$D_B = 18641,69 \text{ mm}$$
$$D_B = 18,6 \text{ m}$$

2. Untuk bus dengan tegangan di atas 15 kV

#### **11A-3-1-1**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left( \frac{t}{E_B} \right)}$$
$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 16,34 \left( \frac{0,760}{5} \right)}$$

$$D_B = 10315,08 \text{ mm}$$

$$D_B = 10,3 \text{ m}$$

### **20kV MVSWGR-1-1 (Sebelum ditambahkan rele diferensial)**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left( \frac{t}{E_B} \right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 19,4 \left( \frac{0,960}{5} \right)}$$

$$D_B = 10258,11 \text{ mm}$$

$$D_B = 10,2 \text{ m}$$

## **4.7.2 Perhitungan *flash protection boundary* pada bus di tipikal 2**

1. Untuk bus dengan tegangan di bawah 15 kV

### **13-1-3-1-1**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[ 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \times 1,5 \times 1,44 \times \left( \frac{0,010}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^{1,473}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 119,46 \text{ mm}$$

$$D_B = 0,12 \text{ m}$$

### **LVS-43EM-3-1-1**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[ 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \times 1,5 \times 5,71 \times \left( \frac{0,013}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^{1,473}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 363,35 \text{ mm}$$

$$D_B = 0,36 \text{ m}$$

### **33A-4-1-1**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[ 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \times 1,5 \times 6,59 \times \left( \frac{0,460}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^{1,473}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 4510,70 \text{ mm}$$

$$D_B = 4,5 \text{ m}$$

### **21A-3-1-1**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[ 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \times 1 \times 5,49 \times \left( \frac{0,360}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 5350,39 \text{ mm}$$

$$D_B = 5,3 \text{ m}$$

2. Untuk bus dengan tegangan di atas 15 kV

### **11A-3-1-1 (Sebelum ditambahkan rele diferensial)**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left( \frac{t}{E_B} \right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 16,34 \left( \frac{0,760}{5} \right)}$$

$$D_B = 10315,08 \text{ mm}$$

$$D_B = 10,3 \text{ m}$$

### **4.7.3 Perhitungan *flash protection boundary* pada bus di tipikal 3**

Untuk perhitungan pada bus di tipikal 3 sudah terwakili oleh perhitungan pada tipikal 1 dan tipikal 2.

Setelah dilakukan perhitungan, selanjutnya akan dibandingkan nilai yang diperoleh dari perhitungan dengan nilai yang diperoleh dari hasil simulasi dengan ETAP untuk kondisi *existing* dan *resetting*.

**Tabel 4. 14** Perbandingan *Flash Protection Boundary* Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada tipikal Pabrik Amurea II Sebelum Penambahan Rele Diferensial

<b>Bus ID</b>	<b><i>Existing</i> FPB (m)</b>	<b><i>Resetting</i> Simulasi FPB (m)</b>	<b><i>Resetting</i> Hitungan FPB (m)</b>
11kV MVSWGR-1-1-1	27,69	18,57	18,6
20kV MVSWGR-1-1-1	13,359	10,27	10,2
Bus11A-3-1-1	3,26	10,31	10,3
Bus21A-3-1-1	1,4	5,33	5,3



**Tabel 4.14** Perbandingan *Flash Protection Boundary* Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada tipikal Pabrik Amurea II Sebelum Penambahan Rele Diferensial (Lanjutan)

Bus ID	Existing FPB (m)	Resetting Simulasi FPB (m)	Resetting Hitungan FPB (m)
Bus21B-3-1-1	1,4	5,27	5,3
Bus33A-4-1-1	1,375	4,5	4,5
LVS-43EM-3-1-1	0,27	0,36	0,36
Bus13-1-3-1-1	0,122	0,122	0,12

Dari data pada Tabel 4.15 terlihat bahwa setelah dilakukan *resetting* jarak *flash protection boundary* atau jarak aman pekerja terhadap peralatan menjadi berubah, pada beberapa bus menjadi lebih jauh sedangkan pada bus yang lain menjadi lebih dekat. Hal ini lagi – lagi dipengaruhi oleh waktu mengatasi gangguan (*fault clearing time*), seberapa cepat rele mengamankan bus saat terjadi gangguan. Selain itu juga jarak *flash protection boundary* juga dipengaruhi oleh besar insiden energi. Semakin besar insiden energi maka jarak aman pekerja juga semakin jauh, dan semakin kecil insiden energi maka jarak aman untuk pekerja juga semakin dekat.

Pada hitungan *resetting* sebelumnya, telah dijelaskan bahwa pada bus 11-A-3-1-1 dan bus 20 kV-MVSWGR-1-1-1 besar insiden energi yang muncul sangat besar, lebih dari level 4 (berdasarkan standar NFPA 70E) sehingga perlu ditambahkan rele diferensial untuk mempercepat pemutusan gangguan, dengan demikian level insiden energi dapat diturunkan. Hal ini tentu akan mempengaruhi besaran *flash protection boundary* untuk kedua bus tersebut. Berikut ini adalah hitungan *flash protection boundary* bus bus 11-A-3-1-1 dan bus 20 kV-MVSWGR-1-1-1 setelah ditambahkan rele diferensial.

**11A-3-1-1 (Setelah penambahan rele diferensial)**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left( \frac{t}{E_B} \right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 16,34 \left( \frac{0,080}{5} \right)}$$

$$D_B = 3346,65 \text{ mm}$$

$$D_B = 3,3 \text{ m}$$

### **20kV MVSWGR-1-1 (Setelah penambahan rele diferensial)**

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left( \frac{t}{E_B} \right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 19,4 \left( \frac{0,080}{5} \right)}$$

$$D_B = 3328,17 \text{ mm}$$

$$D_B = 3,3 \text{ m}$$



Dari hasil perhitungan, terlihat bahwa jarak aman pekerja menjadi lebih dekat dibanding sebelum penambahan rele diferensial. Sehingga pekerja dapat lebih aman beraktivitas disekitar peralatan bertegangan tanpa harus menggunakan PPE yang telah ditentukan.

## **4.8 Penentuan Personal Protective Equipment (PPE)**



Penentuan jenis PPE yang direkomendasikan kepada para pekerja disekitar bus disesuaikan dengan besar energi busur api yang terjadi pada masing – masing bus. Penentuan ini didasarkan pada standar NFPA 70E yang telah menentukan PPE yang harus digunakan pada tiap – tiap level energi busur api yang muncul. PPE sendiri adalah alat perlindungan diri (APD) yang harus digunakan oleh pekerja ketika bekerja pada daerah bertegangan yang beresiko terjadi busur api saat terjadi gangguan kelistrikan.

Dengan diketahuinya besar insiden energi yang terjadi pada masing – masing bus maka dapat ditentukan PPE yang tepat untuk para pekerja sesuai dengan level atau tingkatan energi busur api. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga keselamatan para pekerja akan bahaya *arc flash*. Dibawah ini Tabel 4.16 adalah rekomendasi PPE pada masing – masing bus, yang harus digunakan para pekerja.

**Tabel 4. 15** Rekomendasi PPE pada Masing – Masing Bus Berdasarkan Kategori Busur Api

Bus ID	Kategori Level	PPE	Gambar PPE
PDP-342-3-1-1	Level 0	Pelindung mata Pelindung telinga Sepatu <i>safety leather</i> Kemeja lengan panjang Celana panjang	
51-3-1-1			
52-3-1-1			
MCC WTP-3-1-1			
MCC WWTP-3-1-1			
LVS-43EM-3-1-1			
13-1-3-1-1			
MCC CONVEYOR-3-1-1			
6kV MVSWGR	Level 1	Pakaian tahan api Pelindung kepala Pelindung mata Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung telinga Celana panjang	

**Tabel 4.15** Rekomendasi PPE pada Masing – Masing Bus Berdasarkan Kategori Busur Api (Lanjutan)

Bus ID	Kategori Level	PPE	Gambar PPE
22EM-3-1-1	Level 2	Pelindung wajah dan kepala Pakaian tahan api Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang	
21A-3-1-1			
21B-3-1-1			
EMER SWGR			
LV1 SWGR			
LV2 SWGR			
35EM-3-1-1	Level 3	<i>Flash suit hood</i> Pelindung wajah dan kepala Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pakaian tahan api Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang	
33A-4-1-1			
31B-4-1-1			
32A-4-1-1			
32B-4-1-1			
33A-4-1-1			
33B-4-1-1			
34-4-1-1			
11kV MVSWGR-1-1-1			
11A-3-1-1			
20kV MVSWGR-1-1			

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis yang dilakukan mengenai koordinasi proteksi dengan mempertimbangkan busur api (*Arc Flash*) pada sistem kelistrikan Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Setting* sistem pengaman pada Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik untuk kondisi *existing* masih belum terkoordinasi sesuai standar rele pengaman. Hal ini terlihat dari hasil *plot* kurva rele arus lebh fasa (TCC) bahwa masih terdapat kurva yang saling berpotongan, yang dapat menyebabkan terjadinya kesalahan *trip* CB saat terjadi gangguan.
2. Setelah dilakukan *resetting* pada koordinasi rele pengaman, terlihat bahwa rele – rele pengaman sudah terkoordinasi dengan baik. Saat terjadi gangguan hubung singkat, rele yang terdekat dari titik hubung singkat akan segera mendeteksi gangguan dan mengirim sinyal ke CB (*Circuit Breaker*) untuk segera membuka, contohnya pada saat terjadi gangguan hubung singkat pada bus 21B-3-1-1 maka rele 18-3-1-1 akan segera mendeteksi gangguan dalam waktu 300 ms dan kemudian mengirim sinyal ke CB untuk membuka.
3. Setelah dilakukan *resetting* pada koordinasi rele pengaman, pada bus 11A-3-1-1 dan bus 20 kV MVSWGR-1-1 memiliki level insiden energi busur api maksimum atau melebihi kategori level menurut standar NFPA 70E ( $> 40 \text{ cal/cm}^2$ ). Sehingga perlu dilakukan penambahan rele diferensial agar besar insiden energi yang terjadi dapat diturunkan.
4. Setelah dilakukan penambahan rele diferensial pada bus 11A-3-1-1 dan bus 20 kV MVSWGR-1-1, besar insiden energi dapat turun menjadi level 3. Bus 11A-3-1-1 besar insiden energi turun menjadi  $16,15 \text{ cal/cm}^2$  dari sebelum ditambahkan rele diferensial  $152,11 \text{ cal/cm}^2$ . Pada bus bus 20 kV MVSWGR-1-1 besar insiden energi menjadi  $15,84 \text{ cal/cm}^2$  dari sebelum ditambahkan rele diferensial  $150,45 \text{ cal/cm}^2$ .

## 5.2 Saran

Setelah dilakukan analisa pada hasil yang diperoleh, terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan *resetting* dengan mempertimbangkan *arc flash* dapat dijadikan pertimbangan dan referensi saat melakukan *setting* rele pengaman pada Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik.
2. Dikarenakan pada sistem kelistrikan Pabrik Amurea II masih terdapat bus dengan tingkat bahaya busur api yang melebihi kategori ( $>$  level 4) maka disarankan untuk menambahkan rele diferensial pada bus tersebut.
3. Untuk pekerja pada Pabrik Amurea II disarankan agar menggunakan *personal protective equipment* (PPE) yang sesuai dengan kategori insiden energi pada tiap bus.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyudi, R, “Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2004
- [2] Penangsang, Ontoseno, “Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Jilid 2”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2006
- [3] Sa’adah, Shofia Kholisatus, “Studi Koordinasi Proteksi Pabrik Amurea II PT. Petrokimia Gresik”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2017
- [4] Rosyadi, Ilham, “Analisis Koordinasi Proteksi dengan Mempertimbangkan *Arc Flash* pada PT. Vico Indonesia, Kalimantan Timur, Teknik Elektro ITS, Surabaya 2017
- [5] IEEE Std 242-2001, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
- [6] Lazar, Irwin, “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch. 1, 1980
- [7] IEEE Std. 1584-2002. “*Guide for Performing Arc flash Hazard Calculations*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2002
- [8] NFPA 70E, “*Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces 2003 Edition*”, The National Fire Protection, Inc., USA, 2003
- [9] ABB Inc, “*Low Voltage Circuit Breaker : Arc Flash Hazard*”, ABB Inc, 2009.
- [10] Siemens, “*Siprotec Multi-Functional-Protective Relay with Local Control 7SJ62/604*”, Siemens AG, 2016
- [11] Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST), “*ETAP Short Circuit Training Module*”, Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Indonesia, Surabaya.

*----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----*



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Cahya Surya Utama lahir di Kediri pada tanggal 3 Juli 1993. Anak ketiga dari 3 bersaudara yang mempunyai hobi basket dan fotografi. Mulai menempuh pendidikan di SDN Gedongan 1 Mojokerto pada tahun 1999. Dilanjutkan di SMPN 1 Mojokerto pada tahun 2005. Setelah lulus dari SMPN 1 Mojokerto, kemudian melanjutkan di SMAN 1 Puri Mojokerto pada tahun 2008. Lulus dari Sekolah Menengah Atas penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya pada tahun

2011. Saat ini sedang melanjutkan pendidikan untuk mendapatkan gelar Sarjana di jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil bidang studi Sistem Tenaga. Penulis berdomisili di Surabaya dan dapat dihubungi melalui email [cahya.surya5@gmail.com](mailto:cahya.surya5@gmail.com).

---- *Halaman ini sengaja dikosongkan* ----